

Aus dem Institut für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

## DISSERTATION

# **Klinische Effektivität zweier neuartiger elektrischer Zahnbürsten im Vergleich zu einer konventionellen Handzahnbürste**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité –  
Universitätsmedizin Berlin

von  
Juliane Strauss  
aus Berlin

Dekan: Prof. Dr. M. Paul

Gutachter: 1. Prof. Dr. S. Zimmer  
2. Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann  
3. Prof. Dr. A. Herforth

eingereicht: 22.11.2005

Datum der Promotion: 23.06.2006

## Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, zwei neuartige elektrische Zahnbürsten (Braun Oral-B 3D Excel® & Cybersonic 2®) mit einer Handzahnbürste (Elmex 29®) in ihrer klinischen Effizienz bei der Reduktion von Plaque und Gingivitis zu vergleichen.

120 Probanden, deren Mundhygiene Verbesserungspotenzial aufwies, nahmen an der Studie teil, die einem untersucherblinden Parallel-Design folgte. Während der Baseline-Untersuchung erfolgte die Objektivierung des Mundhygieneniveaus der Probanden mittels Indizes für den Plaquebefall (QHI, API) und den Entzündungsgrad der Gingiva (PBI). Anschließend verwendeten die Probanden die jeweilige Testbürste acht Wochen lang zweimal täglich für zwei Minuten im Hausgebrauch. Das Mundhygieneniveau der Teilnehmer wurde in einer Zwischenuntersuchung nach vier Wochen und einer Abschlussuntersuchung nach acht Wochen mittels der drei Indizes (QHI, API, PBI) reevaluiert.

Die statistische Auswertung zeigte, dass nach vier und acht Wochen, alle Indizes betreffend, die Anwendung beider elektrischer Bürsten in Verbesserungen resultierte, die den Ergebnissen der Handzahnbürste statistisch signifikant überlegen waren ( $p < 0,001$ ). Die Cybersonic 2® war der Braun Oral-B 3D Excel® im Hinblick auf die approximale Plaquereduktion nach acht Wochen ( $p < 0,05$ ) sowie die Gingivitisreduktion nach vier und acht Wochen unterlegen ( $p < 0,01$ ).

Man kann schlussfolgern, dass Braun Oral-B 3D Excel® und Cybersonic 2® Plaque und Gingivitis effektiver als eine manuelle Zahnbürste reduzieren können.

Schlagwörter:

In vivo-Studie, Mundhygieneindizes, Paralleldesign, elektrische Zahnbürsten

## Abstract

It was the objective of the present study to evaluate the efficacy of two new power toothbrushes (Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> & Cybersonic 2<sup>®</sup>) and one manual toothbrush (Elmex 29<sup>®</sup>) in reducing plaque and preventing gingivitis.

120 subjects, whose dental hygiene was open to improvement, took part in the examiner-blind parallel study. Four weeks later, at baseline, two plaque indices (QHI, API) and one gingivitis index (PBI) were recorded. Thereafter the subjects used the assigned toothbrushes eight weeks two times a day for two minutes each. The level of dental hygiene was re-evaluated after four and eight weeks.

Statistical analysis revealed that all indices showed statistically significant reductions for both power toothbrushes which were superior to the manual brush ( $p < 0,001$ ). Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> was superior to Cybersonic 2<sup>®</sup> with respect to reduction of approximal plaque after eight weeks ( $p < 0.05$ ) and reduction of gingivitis after four and eight weeks ( $p < 0,01$ ).

One can conclude that Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> and Cybersonic 2<sup>®</sup> may be more efficacious than a manual toothbrush in removing plaque and preventing gingivitis.

Keywords:

Clinical study, oral hygiene indices, parallel design, power toothbrushes

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht.....</b>	<b>9</b>
2.1	Karies und Parodontopathien .....	9
2.1.1	Ätiologie und Epidemiologie der Karies.....	9
2.1.2	Ätiologie und Epidemiologie parodontaler Erkrankungen.....	12
2.1.3	Prophylaxe oraler Erkrankungen.....	13
2.2	Prophylaxeinstrument Zahnbürste.....	17
2.2.1	Geschichte der Zahnbürstenentwicklung .....	17
2.2.2	Handzahnbürsten.....	17
2.2.3	Elektrische Zahnbürsten .....	18
2.2.4	Effektivitätsvergleich verschiedener Zahnbürsten .....	18
<b>3</b>	<b>Ziel der Untersuchung .....</b>	<b>28</b>
3.1	Arbeitshypothesen.....	28
<b>4</b>	<b>Material und Methode.....</b>	<b>29</b>
4.1	Verwendete Zahnbürsten .....	29
4.1.1	Elmex 29® (GABA, Lörrach, Deutschland) .....	29
4.1.2	Braun Oral-B 3D Excel® (D17, Braun, Kronberg, Deutschland) .....	30
4.1.3	Cybersonic 2® (Amden Corporation, Carson, USA) .....	30
4.2	Studiendesign .....	30
4.3	Vorbereitende Maßnahmen.....	32
4.3.1	Reproduzierbarkeitsprüfung .....	32
4.3.2	Bestimmung der Gruppengröße.....	32
4.3.3	Probandenmanagement.....	32
4.4	Experimentelles Vorgehen .....	34
4.4.1	Probandeninstruktion .....	35
4.4.2	Klinische Untersuchung .....	36
4.4.3	Fragebogen.....	38
4.5	Dokumentation und statistische Auswertung der Daten .....	39
<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>40</b>
5.1	Reliabilität.....	40

5.2	Statistische Auswertung .....	40
5.3	Ergebnisse der häuslichen Zahnreinigung .....	40
5.3.1	Effektivität der approximalen Plaqueentfernung.....	42
5.3.2	Effektivität der Plaqueentfernung auf Glattflächen .....	45
5.3.3	Effektivität der Gingivitisprävention .....	48
5.3.4	Effektivität der Plaqueentfernung auf vestibulären Flächen .....	51
5.3.5	Effektivität der Plaqueentfernung auf oralen Flächen.....	51
5.4	Ergebnisse der Fragebogenauswertung .....	54
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>61</b>
6.1	Diskussion der Methode.....	61
6.1.1	Probanden .....	61
6.1.2	Verwendete Zahnbürsten .....	63
6.1.3	Studiendesign .....	64
6.1.4	Reliabilität .....	78
6.1.5	Fragebogen.....	79
6.1.6	Statistik .....	79
6.2	Diskussion der Ergebnisse.....	81
6.2.1	Effektivität der Plaqueentfernung .....	82
6.2.2	Effektivität der Gingivitisreduktion .....	87
6.2.3	Effektivität der Reinigung schwer zugänglicher Bereiche.....	90
6.2.4	Klinische Relevanz.....	92
6.2.5	Subjektive Bewertung (Probandenfragebogen).....	94
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>100</b>
<b>9</b>	<b>Summary .....</b>	<b>102</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>104</b>
<b>10</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>126</b>
<b>11</b>	<b>Curriculum vitae.....</b>	<b>127</b>
<b>12</b>	<b>Erklärung .....</b>	<b>128</b>

# 1 Einleitung

Die Lebensqualität eines Menschen hängt ganz wesentlich von der oralen Gesundheit ab, die Grundvoraussetzung für eine physiologische Ernährung und Verdauung, ebenso wie für Sprache und Ästhetik ist und somit zum allgemeinen Wohlbefinden und sozialer Integration beiträgt. Trotz intensiver Bemühungen stellen die Erkrankungen der Zähne und des Zahnhalteapparates jedoch noch immer eine zahnmedizinische und gesellschaftliche Herausforderung dar.

Mikrobielle Plaque ist nachweislich der bedeutendste ätiologische Faktor für das Entstehen von Karies, Gingivitis und Parodontitis (Löe et al., 1965; Von der Fehr et al., 1970). Das regelmäßige Entfernen der Plaque von der Zahnoberfläche sowohl supra- als auch subgingival muss folglich Voraussetzung für die Prävention dieser Erkrankungen sein (Axelsson und Lindhe, 1978; Roulet, 1995).

Als effektivste Methode zum Entfernen von Plaque, hat sich seit Ende des 19. Jahrhunderts in den Industrieländern die mechanische Reinigung mit der Zahnbürste etabliert (König und Navia, 1995). Schließlich gilt das manuelle Zähneputzen als hoch effektiv, wenn es mit geeigneter Technik und ausreichender Dauer durchgeführt wird.

Die meisten Menschen erfüllen jedoch keines dieser beiden Kriterien adäquat. Klinische Erfahrungen zeigen, dass das Zähneputzen nur selten zu einer Plaquefreiheit führt. In der neuesten bundesweiten repräsentativen Untersuchung wurde festgestellt, dass alters- und geschlechtsabhängig zwischen 72,4 und 89,5% der deutschen Bevölkerung eine schlechte Mundhygiene aufweisen (Micheelis und Reich, 1999). Eine Steigerung dieses Niveaus mittels Motivation und Instruktion hat sich als äußerst schwierig herausgestellt (Weinstein et al., 1989; Zimmer et al., 2001). Unter diesen Umständen scheint eine vollständige Plaqueentfernung mit konventionellen Zahnbürsten für den Großteil der Bevölkerung nicht realistisch zu sein. Folglich ist es naheliegend, die Zahnreinigung durch Verbesserung der verwendeten Hilfsmittel zu erleichtern, um deren Qualität zu optimieren.

Ein Ergebnis dieser Bemühungen stellt die Entwicklung moderner elektrischer Zahnbürsten dar, die sich auf zwei Technologien konzentriert hat. Sowohl rotierend-oszillierende Bürstenköpfe als auch solche, die mit Schallfrequenz schwingen, können Vorteile gegenüber traditionellen Techniken des Zähneputzens darstellen. In

wissenschaftlichen Studien demonstrierten elektrische Bürsten immer wieder Vorteile gegenüber Handzahnbürsten hinsichtlich der Entfernung von Plaque und der Verbesserung des gingivalen Gesundheitszustandes (Ainamo et al., 1997; Barnes et al., 1993; Ho und Niederman, 1997; Johnson und Mc Innes, 1994; Preber et al., 1991; Van der Weijden et al., 1998; Van der Weijden et al., 1994a). Endgültig konnte ihre Überlegenheit jedoch nicht ermittelt werden (Crawford et al., 1975; Mc Kendrick et al., 1968; Preber et al., 1991; Van der Weijden et al., 1995; Walsh et al., 1989).

Auch innerhalb der Gruppe elektrischer Bürsten existieren Effektivitätsunterschiede, die bisher nicht eindeutig definiert werden konnten. Ergebnisse von In-vitro-Untersuchungen, die auf die Überlegenheit schallaktiver Bürsten schließen lassen (Hope und Wilson, 2003; Stanford et al., 1997), wurden durch den Großteil der In-vivo-Studien nicht bestätigt (Dörfer et al., 2001; Sharma et al., 1998; Van der Weijden et al., 1996).



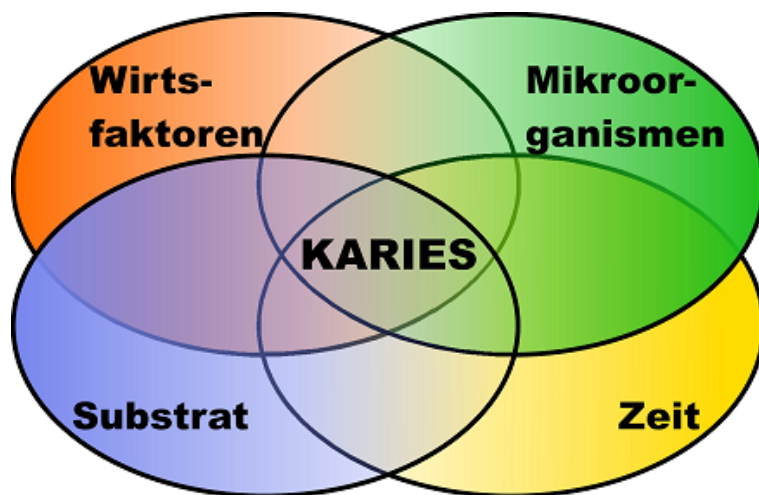
## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Karies und Parodontopathien

Aufgrund der Thematik der vorliegenden Arbeit werden im folgenden Ätiologie und Epidemiologie von Karies und parodontalen Erkrankungen beleuchtet, während auf Ausführungen zur deren Pathogenese nahezu verzichtet wird.

#### 2.1.1 Ätiologie und Epidemiologie der Karies

Karies ist eine durch progressive Desintegration der Zahnstruktur gekennzeichnete Erkrankung, die auf einen Ursachenkomplex zurückzuführen ist, dessen Mittelpunkt bakterielle Zahnbeläge bilden (Kidd und Joyston-Bechal, 1997). Das bis heute gültige Modell der Kariesätiologie wurde von König formuliert (König, 1987) (Abbildung 1). Es besteht aus vier Faktoren, deren Zusammenwirken für das Entstehen von Karies essentiell ist.



*Abbildung 1: Die vier Grundvoraussetzungen für das Entstehen kariöser Läsionen*

Die gereinigte Zahnoberfläche wird durch hunderte Spezies von Bakterien der Mundflora besiedelt, die innerhalb von Stunden einen geschlossenen Bakterienrasen bilden. Bei entsprechender Nahrungszufuhr entwickelt sich an der Grenzfläche zwischen Zahn und Speichel ein komplexer Biofilm, der als Plaque bezeichnet wird. Er haftet durch bakterielle Adhärenzmechanismen fest auf der Zahnoberfläche und kann

durch seine Stoffwechselleistungen Karies verursachen (Wilson, 2001). Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang Mutans-Streptokokken.

Substrat des Stoffwechsels der Plaquebakterien, an dessen Ende die Produktion organischer Säuren steht, sind in erster Linie in der menschlichen Nahrung enthaltene niedermolekulare Kohlenhydrate. Der Vipeholm-Studie zufolge ist nicht deren Absolutmenge, sondern vielmehr die Häufigkeit ihrer Aufnahme für den Karieszuwachs entscheidend (Gustafsson et al., 1954), da das Gleichgewicht zwischen De- und Remineralisation, das bei gesunden Verhältnissen an der Grenzfläche zwischen Zahn und Speichel vorliegt, dauerhaft gestört wird. Die Reparaturmechanismen des Speichels, der alle Bausteine des Zahnes in gelöster Form enthält, reichen nicht mehr aus, wenn der pH-Wert in der Plaque aufgrund wiederholter Säurefreisetzung auf 5,5 und weniger sinkt (Fischer et al., 1995). Als Folge der Gleichgewichtsverschiebung protonisieren die durch Säuredissoziation freigesetzten  $H^+$  Ionen das Schmelzmineral (König, 1987; Ten Cate, 1979). Ist die Einwirkzeit der Plaque auf die Schmelzoberfläche lange genug, werden aus Hydroxylapatiten, die den Hauptanteil der anorganischen Phase des Schmelzes bilden, Magnesium- und Carbonat-, gefolgt von Calcium- und Phosphationen freigesetzt (Driessens, 1982). Dies kann in einem Verlust der strukturellen Integrität des Zahnes resultieren.

Epidemiologische Untersuchungen zeigen einen deutlichen Rückgang der Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in den Industrieländern während der letzten 30 Jahre (Mathiesen et al., 1996). In Deutschland verbesserte sich der DMFT-Index (Summe zerstörter, fehlender und gefüllter Zähne) Zwölfjähriger in den Jahren 1989 bis 1997 laut repräsentativer Mundgesundheitsstudien von 3,9 (Micheelis und Reich, 1991) auf 1,7 (Micheelis und Reich, 1999). Das entspricht einem Kariesrückgang um 69%, der laut Pieper hauptsächlich ein Produkt der Fluoridierung und Fissurenversiegelung ist (Pieper, 1998; Pieper, 2001). Für erwachsene Bundesbürger wurde ein DMFT von 16,1 ermittelt, der im Vergleich zu vorhergehenden Mundgesundheitsstudien einen gleichbleibenden Kariesbefall darstellt (Micheelis und Reich, 1999).

Durch den Rückgang ihrer Prävalenz hat die Karies keineswegs an Bedeutung verloren. Ihr Krankheitsbild erscheint heute komplexer, als es in der Vergangenheit der Fall war. So zeigen epidemiologische Daten, dass nicht alle Mitglieder der Bevölkerung gleichermaßen von der steigenden Zahngesundheit profitieren (Marthaler, 1986; Micheelis und Reich, 1999). Es liegt eine „schiefe“ Kariesverteilung vor. Laut der neuesten repräsentativen deutschen Studie gibt es bei den zwölfjährigen Bundesbürgern zwar aktuell 41,8% naturgesunde Gebisse, 61,2% aller DMF-Zähne entfallen jedoch auf nur 21,5% der Bevölkerung. Eine Hochrisikogruppe von 7,9% der Jugendlichen besitzt mit 29,6% fast ein Drittel aller erkrankten Zähne (Micheelis und Reich, 1999). Hinweise auf Ursachen dieser Polarisierung geben epidemiologische Studien an britischen Kindern, die einen engen Zusammenhang zwischen Sozialstatus und Kariesprävalenz nachweisen (Gibson und Williams, 1999; Schou und Uitenbroek, 1995).

Ein weiteres, mit dem Rückgang ihrer Prävalenz einher gehendes Phänomen, ist die Polarisierung der Karies auf Fissuren und Approximalräume des Gebisses (Brunelle und Carlos, 1990; Kalsbeek und Verrips, 1990; Schroeder, 1992), die ihre Diagnostik erheblich erschwert. Das besonders hohe Kariesrisiko dieser anatomischen Bereiche wird auf deren Morphologie zurückgeführt, die die Reinigung und den Zugang für remineralisierende Ionen negativ beeinflusst (König, 1987).

Es kann zusammengefasst werden, dass Karies, deren Bekämpfung in den letzten Jahren deutliche Fortschritte gemacht hat, weiterhin ein erhebliches gesellschaftliches Problem darstellt. Laut repräsentativer Daten zur Verbreitung der Karies in der deutschen Bevölkerung liegt die Morbidität der Erwachsenen bei 99,2% und die der Zwölfjährigen bei immerhin 58,2% (Micheelis und Reich, 1999). Die Kosten für die zahnmedizinische Versorgung, die zu ca. 70% auf die Behandlung kariesbedingter Schäden zurückzuführen sind, sind in den letzten Jahren in Deutschland trotz deutlichen Kariesrückganges gestiegen (Schneider und Knappe, 1999). Bezogen auf die direkten Krankheitskosten stellt Karies mit ihren Folgeerkrankungen die teuerste ernährungsabhängige Einzelerkrankung in der Bundesrepublik Deutschland dar (Zimmer, 1999).

### **2.1.2 Ätiologie und Epidemiologie parodontaler Erkrankungen**

Auch hinsichtlich der Entstehung von Gingivitis und Parodontitis verkörpert die bakterielle Plaque den primären ätiologischen Faktor. Verantwortlich sind hier jedoch nicht organische Säuren, sondern in erster Linie Antigene sowie Stoffwechselprodukte parodontalpathogener Keime in Form von Enzymen und Toxinen. Ihnen kommt neben der Auslösung akuter Entzündungen und immunpathologischer Reaktionen eine Schlüsselrolle bei der Entstehung destruktiver Prozesse am Parodont zu.

Löe et al. wiesen durch ihre Studien zur experimentellen Gingivitis nach, dass eine bakterielle Plaqueakkumulation infolge unterbrochener Hygienemaßnahmen bei gesunden Gingivaverhältnissen innerhalb von zehn Tagen zu klinisch sichtbaren Zeichen einer Gingivitis führt: Farb- und Oberflächenstrukturveränderungen, erhöhte Blutungsneigung (Löe et al., 1965). Dass sich eine etablierte Gingivitis innerhalb von drei bis sechs Tagen nach Wiedereinsetzen der Mundhygiene zurückbilden kann (Löe et al., 1965), weist auf die Bedeutung der Plaqueentfernung hin. Die Langzeiteinwirkung der bakteriellen Noxen kann neben besonders aggressiven Bakterienformen, genetischen Defekten in der lokalen Abwehr oder einer Schwächung des Immunsystems Auslöser für ein Fortschreiten der gingivalen Entzündung in tiefere Bereiche des Parodontiums sein. Schließlich steigt der relative Anteil anaerober, Gram-negativer Keime mit hohem pathogenen Potential im Laufe der Plaquematuration stark an. Je nach Art, Dichte und Virulenz dieser subgingivalen Bakterienflora können verschiedene Formen der Parodontitis auftreten, die serologisch, mikrobiologisch und anamnestisch-symptomatisch voneinander unterscheidbar sind. Sie gehen mit fortschreitendem Attachmentverlust einher und führen unbehandelt zum Verlust von Alveolarknochen und Zähnen.

Auch parodontale Erkrankungen bilden folglich ein gesellschaftliches Problem, dessen Ausmaß eine repräsentative Mundgesundheitsstudie unterstreicht, die besagt, dass nur 21,9% der erwachsenen Deutschen keine Gingivitis haben, während 43% an schweren gingivalen Entzündungen leiden (Micheelis und Reich, 1999).

### **2.1.3 Prophylaxe oraler Erkrankungen**

Da die bakterielle Plaque wie oben beschrieben eine Schlüsselfunktion in der Ätiologie von Karies, Gingivitis und Parodontitis besitzt (Löe et al., 1965; Von der Fehr et al., 1970), kann konstatiert werden, dass es ohne Plaque keine dieser oralen Erkrankungen gäbe. Lediglich plaqueunabhängige traumatogen, hormonell oder medikamentös bedingte Gingivitiden sind von dieser These auszuschließen.

Die Gesundheitspflege durch Prophylaxe verkörpert folglich in erster Linie das dauerhafte Bekämpfen der mikrobiellen Plaque, welches sich gleichermaßen positiv auf Karies und Erkrankungen des Parodontiums auswirkt (Roulet, 1995). Axelsson et al. wiesen mehrfach nach, dass die kontinuierliche mechanische Plaqueentfernung in Verbindung mit regelmäßiger lokaler Fluoridierung in einer deutlichen Reduktion der Prävalenz von Karies und Parodontopathien resultiert (Axelsson und Lindhe, 1978; Axelsson und Lindhe, 1981; Axelsson et al., 1991; Paulander et al., 2003).

#### **2.1.3.1 Kariesprophylaxe**

Hauptansatzpunkte für die Kariesprophylaxe stellen die Bekämpfung ätiologischer Faktoren sowie die Stärkung der Wirtsabwehr dar. Aufgrund der Thematik der vorliegenden Arbeit beschränken sich die folgenden Ausführungen hauptsächlich auf die Ätiologie. Dabei steht dem Untersuchungsthema entsprechend die mechanische Plaquereduktion im Mittelpunkt, obwohl das moderne Plaquemanagement das Ziel verfolgt, Plaque nicht nur zu entfernen, sondern zusätzlich deren Bildung und pathogene Eigenschaften zu reduzieren (Splieth, 1998).

Untersuchungen aus einer Zeit, in der die allgemeine Verfügbarkeit lokaler Fluoride wesentlich schlechter als heute war, konnten keineswegs durchweg nachweisen, dass eine gute Mundhygiene mit einer reduzierten Kariesprävalenz einhergeht (Gülzow, 1965; Mansbridge, 1960; Ripa, 1974; Trubman, 1963). Studien aus der Fluorid-Ära lassen dagegen einen Zusammenhang zwischen häuslicher Mundhygiene und Karies in der Form erkennen, dass auch eine suboptimale Plaqueentfernung zu einer Karieshemmung führt (Levine, 1996; Mathiesen et al., 1996; Sutcliffe, 1983). Sie offenbaren die große Bedeutung lokaler Fluoride in der Kariesprophylaxe.

Um jedoch als Schlussfolgerung daraus den Nutzen der mechanischen Plaquekontrolle nicht zu unterschätzen, empfiehlt sich das Betrachten von Untersuchungen, denen zufolge Plaquereduktion und Fluoride eine synergistische Wirkung haben (Koch und Lindhe, 1970). Ögaard et al. stellten fest, dass gerade bei regelmäßiger Anwendung von Fluoriden die Mundhygiene den Hauptindikator für das Bewerten des Kariesrisikos bildet (Ögaard et al., 1994). Hier wird der Einfluss der Frequenz des Zähneputzens stärker als der Einfluss des Zuckerkonsums auf die Entstehung von Karies bewertet (Stecksens-Blicks und Holm, 1995; Sundin et al., 1983).

Es kann zusammengefasst werden, dass die Mundhygiene auch in einer Fluorid-konsumierenden Population einen wichtigen Faktor der Kariesprävention bildet, hier aber bereits eine suboptimale Plaquereduktion zu messbaren Erfolgen führt.

#### **2.1.3.2 Prophylaxe parodontaler Erkrankungen**

Dass die Intensivierung der Mundhygiene mit möglichst optimaler Plaquekontrolle auch hinsichtlich parodontaler Erkrankungen die beste Prophylaxe darstellt, ist unumstritten (Axelsson et al., 1991; Loe et al., 1965; Ögaard et al., 1994; Strahan et al., 1977). Die große Bedeutung der supragingivalen Plaqueentfernung wurde überzeugend durch Studien zur Gingivitis (Axelsson und Lindhe, 1981; Loe et al., 1965), sowie durch Studien, die die Effektivität parodontaler Therapien bei Personen mit und ohne exzellente Plaquekontrolle verglichen (De Sanctis et al., 1996; Lindhe et al., 1984), demonstriert. Das regelmäßige Entfernen supragingivaler Plaque reduziert die Menge der pathogenen Mikroorganismen nicht nur supra-, sondern auch subgingival, da für jene Spezies Standortveränderungen in Form zurückgehender gingivaler Entzündung und verminderten Nahrungsangebotes resultieren (Ximenez-Fyvie et al., 2000). Es beugt dem Entstehen und der Progression von Parodontopathien somit effektiv vor.

### **2.1.3.3 Charakterisierung des häuslichen Mundhygieneverhaltens**

Im Rahmen der Prävention von Karies, Gingivitis und Parodontitis gilt die mechanische Entfernung von Belägen mit der Zahnbürste als einfachste und effizienteste Methode der Plaquekontrolle. Klinische Erfahrungen zeigen jedoch, dass das Zähneputzen nur selten zu Plaquefreiheit führt (Frandsen, 1986). Mangelnde Kenntnisse über effektive Reinigungstechniken und - angesichts einer immer älter werdenden Bevölkerung - zunehmend auch eingeschränkte manuelle Fähigkeiten, beeinflussen die praktische Umsetzung.

Als Hauptursache wird jedoch eine zu kurze Zahnputzdauer diskutiert (Van der Weijden et al., 1993b; Van der Weijden et al., 1996). Sowohl für manuelle als auch elektrische Bürsten konnte nachgewiesen werden, dass die Plaquereduktion mit zunehmender Reinigungsdauer ansteigt (Mc Cracken et al., 2003; Van der Weijden et al., 1993b; Williams et al., 2004). Andere Forschungsgruppen stellen hingegen zur Diskussion, dass auch bei verlängerten Putzzeiten bestimmte Problemzonen nicht zwangsweise gründlicher gesäubert werden. So erfolgt das Reinigen der Bukkalflächen stets signifikant besser als das der Oralflächen, das der Oralflächen des Oberkiefers besser als das der entsprechenden des Unterkiefers, und das der Frontzähne und Prämolaren besser als das der Molaren (Hawkins et al., 1986; Huber et al., 1985).

Auf der Suche nach der idealen Putzdauer wurde eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt. Frandsen et al. stellten fest, dass 90 Sekunden unabhängig von der Putztechnik für eine vollständige Belagsentfernung nicht ausreichend sind (Frandsen et al., 1970). Zu übereinstimmenden Ergebnissen kamen Van der Weijden et al.. Ihnen zufolge ist eine Minute für eine akzeptable Plaquereduktion unzureichend, eine mindestens zwei Minuten dauernde Reinigung führt dagegen zu einer signifikanten Reduktion der Plaque. Das Erhöhen der Putzdauer auf drei und vier Minuten resultierte wider Erwarten nicht in einer signifikant gesteigerten Plaquereduktion gegenüber dem zweiminütigen Putzen (Van der Weijden et al., 1993b; Van der Weijden et al., 1996). Im Gegensatz dazu ermittelten Hawkins et al. 5,1 Minuten als ideale Putzdauer bei Anwendung einer Handzahnbürste (Hawkins et al., 1986).

Den Idealvorstellungen gegenüber stehen tatsächliche durchschnittliche Putzzeiten zwischen 33 (Mac Gregor und Rugg-Gunn, 1985) und 83,5 Sekunden (Saxer et al., 1998). Als Ursache für die deutliche Diskrepanz zwischen Ist und Soll gilt neben einer mangelnden Compliance die fehlerhafte Einschätzung der Putzdauer. Saxer et al. ermittelten ein gravierendes Missverhältnis zwischen tatsächlicher und geschätzter Putzzeit. Die durchschnittliche Putzdauer von 68,8 Sekunden wurde von Probanden auf durchschnittlich 148,1 Sekunden geschätzt (Saxer et al., 1983).

Die Präventivzahnmedizin empfiehlt heute eine Entfernung der Speisereste nach jeder Mahlzeit sowie täglich eine kombinierte Zahnreinigung mit Zahnbürste und Hilfsmitteln zur Reinigung der Interdentalräume (Marthaler, 1978; Mintel und Crawford, 1992; Warren et al., 1998). Solche Forderungen erscheinen angesichts der tatsächlich vorgefundenen Putzgewohnheiten unrealistisch. 75% der Deutschen putzen laut einer bundesweiten repräsentativen Studie ihre Zähne weniger als zweimal bzw. kürzer als 90 Sekunden täglich (Bauch et al., 1991). Selbst die Empfehlung von Renggli et al., zweimal täglich drei Minuten die Zähne zu putzen (Renggli et al., 1984), scheint folglich auf den Großteil der Bevölkerung nicht übertragbar zu sein. Reinigungszeiten von drei Minuten wurden bei epidemiologischen Erhebungen kaum festgestellt (Mac Gregor und Rugg-Gunn, 1979; Mac Gregor und Rugg-Gunn, 1985), Interdentalraumreinigungsmittel finden in der Bevölkerung nur eine geringe Akzeptanz.

Es kann zusammengefasst werden, dass eine dringende Notwendigkeit zur Verbesserung der häuslichen Zahnpflege besteht. Den entscheidenden Parameter für das Mundhygieneverhalten stellt die Compliance der Patienten dar (Alcouffe, 1988). Eine Steigerung des Mundhygieneniveaus mittels Motivation und Instruktion zu erreichen, hat sich jedoch als äußerst schwierig herausgestellt (Glavind et al., 1981; Weinstein et al., 1989; Zimmer et al., 2001). Deshalb ist es naheliegend, die Effektivität der Zahnbürsten so zu verbessern, dass bei gleicher Putzzeit eine bessere Reinigung erzielt wird. Weiterhin sind Bürsten gefragt, deren Reinigungswirkung so wenig wie möglich von der individuellen Putztechnik beeinflusst wird (Saxer und Yankell, 1997b).  
Kommen die neu entwickelten Zahnbürsten diesen Zielen näher?



## **2.2 Prophylaxeinstrument Zahnbürste**

### **2.2.1 Geschichte der Zahnbürstenentwicklung**

Geräte zur Zahnreinigung, die wahrscheinlich schon seit Beginn der Menschheitsgeschichte benutzt wurden, fanden erstmals 3000 v. Chr. in Ägypten in Form kleiner Zweige mit ausgefranten Enden Erwähnung. Die Zahnbürste, so wie wir sie heute kennen, wurde zum ersten Mal 1600 n. Chr. in der chinesischen Literatur erwähnt und bestand aus Wildschweinborsten mit Bambusstiel. Im 18. Jahrhundert führten Reisende jene Bürsten nach Europa ein (Kanner, 1926). Hier erwachte im Zeitalter der Aufklärung zwar ein neues Gesundheitsbewusstsein, aber selbst unter zahnheilkundlich gebildeten Ärzten galt die Zahnpflege als sehr umstritten. Die Überzeugung von der Notwendigkeit einer täglichen Zahnreinigung verbreitete sich erst im frühen 19. Jahrhundert. Seitdem haben kontinuierliche Weiterentwicklungen zum Siegeszug der Zahnbürste beigetragen. Als wichtigste Schritte sind hier der Beginn der Massenproduktion von Handzahnbürsten 1885, die Einführung der Nylonborsten 1938 und die Vorstellung der ersten elektrischen Zahnbürste 1960 in den USA zu nennen. Heute werden allein in Deutschland 200 Millionen Zahnbürsten pro Jahr verkauft (GABA 2002).

### **2.2.2 Handzahnbürsten**

Handzahnbürsten sind als führendes Segment auf dem Zahnbürstenmarkt vertreten. Die Konstruktionsmerkmale ebenes Borstenfeld, parallel stehende endgerundete Kunststoffborsten und kurzer Kopf galten lange als Kriterien für eine gute Handzahnbürste (Monefeld, 1988), erscheinen jedoch heute teilweise überholt. Um die Effektivität zu erhöhen, wurden zahlreiche Modifikationen wie V-förmig, gestuft, divergierend und gekreuzt angeordnete Borsten sowie mehrköpfige Bürsten entwickelt. Geblieben ist lediglich die Forderung nach einem kurzen Bürstenkopf und abgerundeten Kunststoffborsten.

### **2.2.3 Elektrische Zahnbürsten**

Elektrische Bürsten haben sich heute als Alternative zu manuellen Methoden des Zähneputzens fest etabliert. Seit ihrer Einführung wurden Design und Funktionsweise kontinuierlich modifiziert. Diese Entwicklungsschritte lassen nach Zimmer eine Einteilung der Bürsten entsprechend der Bürstenkopfbewegungen in drei Generationen zu (Zimmer, 1999):

Die seit Beginn der 60er Jahre vorliegende erste Generation elektrischer Zahnbürsten weist einen länglichen Bürstenkopf mit seitwärts-schwenkendem Bewegungsmuster auf. Auf dem Markt spielen diese Bürsten heute keine Rolle mehr.

Die zweite Generation elektrischer Zahnbürsten wurde 1987 eingeführt und ist durch runde Köpfe, die rotierend-oszillierende Bewegungen ausführen, gekennzeichnet. Ihre neuesten Vertreter generieren dreidimensionale Borstenbewegungen, indem sie rotierend-oszillierende und transversale Schwingungen kombinieren. Geräte dieser Generation besitzen einfache elektrische Motoren, deren Antrieb über Zahnräder oder exzentrische Wellen erfolgt. Die zweite Generation stellt das größte Marktsegment der elektrischen Zahnbürsten dar.

Die dritte Generation elektrischer Zahnbürsten wurde erstmals 1993 vorgestellt. Hierbei handelt es sich um so genannte schallaktive Bürsten, deren Borsten mit einer Frequenz im Schallbereich schwingen. Sie basieren auf magneto-elektrischen Motoren, deren Antrieb unter Verwendung elektronischer Bauelemente über den piezo-elektrischen Effekt erfolgt (Walmsley, 1997). Bürsten der dritten Generation machen ein kleineres, aber stetig zunehmendes Marktsegment aus.

### **2.2.4 Effektivitätsvergleich verschiedener Zahnbürsten**

#### **2.2.4.1 Stellenwert elektrischer Zahnbürsten im Vergleich zu Handzahnbürsten**

In den 60er Jahren wurden die elektrischen Bürsten für eine limitierte Population entwickelt. Zielgruppe waren vor allem Patienten in kieferorthopädischer Behandlung, Parodontitispatienten, manuell ungeschickte, sowie physisch oder psychisch behinderte Personen. Dass elektrische Zahnbürsten in solchen Patientengruppen mit erschwerter Mundhygienefähigkeit Vorteile gegenüber Handzahnbürsten bieten, konnte mehrfach nachgewiesen werden. In einer von Ho et al. durchgeführten Untersuchung wurde die Effektivität einer schallaktiven Zahnbürste bei jugendlichen Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen überprüft. Es zeigte sich eine deutliche Überlegenheit

der Sonicare® gegenüber der Handzahnbürste bezüglich aller erhobenen klinischen Parameter: Reduktion von Plaque, Gingivitis und Sondierungstiefe (Ho und Niederman, 1997). Day und Martin verglichen eine schallaktive (Sonicare®) und eine manuelle Zahnbürste hinsichtlich der Entfernung von Plaque bei Patienten, die nicht in der Lage waren, sich selbstständig die Zähne zu putzen. In der durch Pflegepersonal übernommenen täglichen Zahnpflege bestätigte die Schallzahnbürste erneut ihre Überlegenheit. Sie erzielte nach sechs Wochen eine Plaquereduktion von 38% (Day und Martin, 1998). O'Beirne et al. verglichen eine schallaktive und eine manuelle Zahnbürste über acht Wochen bei Patienten mit moderater chronischer Parodontitis. Sie wiesen Vorteile der Sonicare® bezüglich der Verbesserung aller klinischer Parameter nach: Gingivaler Blutungsindex, Sondierungstiefe, Attachmentniveau (O'Beirne et al., 1996).

Elektrische Bürsten blieben lange auf diese Zielgruppen beschränkt. Erst seit in den 90er Jahren neue Technologien elektrischer Zahnbürsten entwickelt wurden, kamen sie in größeren Teilen der Bevölkerung zur Anwendung. Es bleibt jedoch die Frage offen, ob die vielversprechenden Ergebnisse der oben zitierten In-vivo-Studien auf die gesamte Bevölkerung übertragen werden können.

Um manuelle und elektrische Verfahren auch hier entsprechend ihrer Effektivität einordnen zu können, sind zahlreiche wissenschaftliche Vergleiche erfolgt. Das Studium der betreffenden Literatur ergibt eine große Variabilität der Ergebnisse, die auf Unterschieden im Studiendesign in Form von Studiendauer, Anzahl der Probanden und anderen Faktoren wie Zahnflächen, Indizes, Länge der Putzzeit und Intensität des Trainings beruht (Ash, 1964; Frandsen, 1986). Sowohl das Gegenüberstellen wissenschaftlicher Arbeiten als auch das Ableiten praktischer Konsequenzen werden dadurch erheblich erschwert. Saxer und Yankell halten Vergleiche im Bereich der Zahnbürsteneffektivitätsprüfung sogar für unmöglich (Saxer und Yankell, 1997b).

Im Zuge des Bearbeitens der Fragestellung der Effektivität elektrischer Bürsten in der Gesamtbevölkerung wies ein Teil der Forschungsgruppen in vivo keine erhöhte Effektivität gegenüber Handzahnbürsten nach (Crawford et al., 1975; Cross et al., 1962; Mc Kendrick et al., 1968; Niemi et al., 1986, 1987 #43; Quigley und Hein, 1962; Tscharre-Zachhuber et al., 1989; Walsh und Glenwright, 1984; Walsh et al., 1989). Die Bewertung der Literatur lässt jedoch darauf schließen, dass dies hauptsächlich für Vertreter der ersten Generation elektrischer Zahnbürsten gilt.

Die Ergebnisse aktuellerer Studien erscheinen differenzierter. Ihr Großteil bescheinigt der zweiten Generation elektrischer Zahnbürsten eine effizientere Plaqueentfernung und Gingivitisprävention im Vergleich zu Handzahnbürsten (Baab und Johnson, 1989; Glavind und Zeuner, 1986; Killoy et al., 1989; Lazarescu et al., 2003; Preber et al., 1991; Williams et al., 2004). So wurde die Überlegenheit verschiedener Modelle der Braun Oral-B® gegenüber einer Handzahnbürste nach einem Monat (Van der Weijden et al., 1998), 1,5 Monaten (Stoltze und Bay, 1994), drei Monaten (Cronin et al., 1998; Warren et al., 2001), sechs Monaten (Dentino et al., 2002) und acht Monaten (Van der Weijden et al., 1994a) bestätigt. Während sich die sechsmonatige Studie lediglich auf die Plaquekontrolle konzentrierte (Dentino et al., 2002), wurden die Ergebnisse der anderen Studien für beide Parameter formuliert. Weitere Autoren konnten jedoch unter vergleichbaren Untersuchungsbedingungen auch aktuell keine (Zimmer et al., 1999; Zimmer et al., 1999) bzw. nur auf die Gingivitisreduktion (Ainamo et al., 1997; Barnes et al., 1993) oder approximale Plaquerreduktion (Heasman et al., 1999) beschränkte Vorteile der Braun Oral-B® gegenüber manuellen Bürsten nachweisen.

Schallaktive Zahnbürsten erwiesen sich im Vergleich zu Handzahnbürsten zumindest hinsichtlich der Plaquekontrolle konsequent überlegen (Zimmer et al., 2000). Die Reduktion der Gingivitis betreffend, gelang es jedoch selten, Vorteile der Schalltechnologie zu beschreiben. Signifikant erhöhte Plaquerreduktionen schallaktiver gegenüber Handzahnbürsten gingen in zahlreichen Untersuchungen nicht mit signifikanten Unterschieden bezüglich der Gingivitisreduktion einher (Johnson und Mc Innes, 1994 O'Beirne, 1996 #92; O'Beirne et al., 1996; Tritten und Armitage, 1996).

Es kann geschlussfolgert werden, dass bei korrekter Anwendung grundsätzlich elektrische als auch manuelle Zahnbürsten geeignet sind, Plaque zu entfernen (Johnson und Mc Innes, 1994; Stoltze und Bay, 1994; Tritten und Armitage, 1996). Da das Ausmaß der Plaquereduktion von Dauer und Intensität des Borstenkontaktes bestimmt wird, können hochfrequente Systeme Vorteile bieten. Sie wurden jedoch nur für Bevölkerungsgruppen mit eingeschränkter Mundhygienefähigkeit eindeutig nachgewiesen. Welche Technologie ist für die breite Bevölkerung die effektivste?

#### **2.2.4.2 Gegenüberstellung elektrischer Zahnbürsten**

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkungsmechanismen scheinen auch innerhalb der Gruppe der elektrischen Bürsten Unterschiede hinsichtlich der Effektivität der Plaqueentfernung zu existieren. Eine Übersicht der wichtigsten aktuellen Vertreter elektrischer Zahnbürsten liefert Tabelle 1.

Tabelle 1: Bewegungsmuster elektrischer Zahnbürsten

Hersteller	Typ	Schwenkwinkel	Frequenz	Schwingungen pro Minute
<b>Schallzahnbürsten:</b>				
Philips	Sonicare	4 mm	258 Hz	31 000
Water Pik	Sensonic	3-6 mm	258 Hz	31 000
Rowenta	Dentasonic	0,5 mm	233 Hz	28 000
Amden Corporation	Cybersonic 2	0,5 mm	341 Hz	41 000
<b>Oszillierende Bürsten:</b>				
Braun Oral-B	Plak Control	55-70°	50 Hz	6 000
Braun Oral-B	Ultra Plak Control	55-70°	63 Hz	7 600
Braun Oral-B	Plak Control 3D	45°	63 Hz oszillierend, 166 Hz pulsierend	7 600 Oszillationen, 20 000 Pulsationen
Braun Oral-B	3D Excel, Professional Care 8500	45°	63 Hz oszillierend, 333 Hz pulsierend	7 600 Oszillationen, 40 000 Pulsationen

Die meisten elektrischen Zahnbürsten entfernen Plaque, indem sie sie durch direkten Kontakt von der Zahnoberfläche abschaben. Das Konzept dieser Zahnbürsten der zweiten Generation mit oszillierenden Köpfen orientiert sich am Vorbild einer rotierenden Bürste im zahnärztlichen Winkelstück. Jeder Zahn muss separat bearbeitet werden, wobei der Bürstenkopf exakt entlang des Gingivalsaumes zu führen und der Kontur des Zahnes folgend mit einer Schwenkbewegung in den Interdentalraum einzubringen ist.

Die neueste Generation der elektrischen Bürsten generiert dagegen dynamische Strömungsaktivitäten, die Plaque effektiv zerstören, bevor sie in Kombination mit Schrubbbewegungen von der Zahnoberfläche entfernt wird (Engel et al., 1993; Johnson und Mc Innes, 1994; Wu-Yuan et al., 1994). Das Konzept dieser Bürsten der dritten Generation basiert auf schnellen Vibrationen, wie sie von Geräten zur Zahnsteinentfernung generiert werden. Die akustische Schallenergie von Zahnbürsten führt im oralen Milieu zu dynamischen Aktivitäten (Walmsley et al., 1988), deren Ausmaß frequenzabhängig ist. Da elektrische Zahnbürsten mit einer vergleichsweise niedrigen Frequenz (250-500 Hz) arbeiten, generieren sie im Gegensatz zu Ultraschallinstrumenten (16-20 kHz) keine destruktive Kavitation (Walmsley et al., 1992). Ihre Inserierung in ein Luft-Wasser-Gemisch führt lediglich zu schnellen zyklischen Volumenänderungen der Gasbläschen und daraus folgenden, typischen Strömungsmustern (Holtzmark et al., 1954; Hope und Wilson, 2003). Diese gehen mit lokalen hydrodynamischen Scherkräften einher, welche effektive Mechanismen bei der Entfernung mikrobieller Plaque von der Zahnoberfläche darstellen, aber nicht stark genug sind, um biologische Gewebe zu schädigen (Nyborg, 1977; Walmsley et al., 1992). Schallaktive Bürsten sind ausgesprochen einfach zu handhaben. Sie werden an der Zahnreihe angesetzt und möglichst druckarm am Zahnfleischsaum entlang geführt.

Um die Überlegene der beiden Techniken zu bestimmen und ihre Effektivität im Vergleich zum manuellen Putzen einordnen zu können, wurden zahlreiche Vergleiche schallaktiver Zahnbürsten zu elektrischen Zahnbürsten früherer Generationen sowie Handzahnbürsten vorgenommen, die im Folgenden gegenübergestellt werden.

#### **2.2.4.3 In-vitro-Untersuchungen**

In Anbetracht der nachgewiesenen Effekte des Ultraschalls auf zelluläre Funktionen begann man, biologische Auswirkungen des Schalls auf pathogene Mikroorganismen im Mundmilieu zu untersuchen. In-vitro-Studien lassen vermuten, dass die von Schallzahnbürsten erzeugte Schwingungsenergie orale Bakterien so beeinflussen kann, dass ihre Fähigkeit zur Bildung von Plaque gestört wird.

Mc Innes et al. wiesen nach, dass Schallenergie die für die Plaquebildung essentielle Anheftung der Bakterien an die Zahnoberfläche und an andere Zellen hemmen kann. Die Untersuchungen erfolgten mit einer schallaktiven Zahnbürste (Sonicare®) an *Actinomyces viscosus*, einem Leitkeim sich formender Plaque. Die elektronenmikroskopische Nachuntersuchung ergab Veränderungen von Zelloberflächenkomponenten in Form einer Fimbriendestruktion als Ursache für geschwächte Adhärenzeigenschaften des Keims auf Hydroxylapatitscheiben (Mc Innes et al., 1992).

Die Auswirkungen verschiedener Zahnbürsten auf *Treponema denticola* überprüften Blanco et al. in vitro. Es handelt sich dabei um einen häufig aus aktiven Taschen isolierten Keim mit hohem pathogenen Potenzial für parodontale Erkrankungen. Die schallaktive Bürste (Water Pik Sensonic™) war hier sogar in der Lage, die zelluläre Integrität der Spirochäte zu zerstören. Nach Expositionszeiten von 45 und 60 Sekunden konnten mikroskopisch nur noch Zelltrümmer nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse erzielten Blanco et al. zwar auch mit einer rotierenden Bürste (Braun Oral-B®), die schallaktive Bürste war Ersterer jedoch in der Anzahl der zerstörten Keime überlegen (Blanco et al., 1997). Für die Handzahnbürste wurde kein Einfluss auf *Treponema denticola* detektiert.

Als weiterer biologischer Effekt des Schalls wurde dessen Einfluss auf die Zellproliferation ermittelt. Es wird vermutet, dass die Verbesserung klinischer Parameter (gingivaler Blutungsindex, Sondierungstiefe, Attachmentniveau) bei Anwendern schallaktiver Bürsten nicht nur auf Veränderungen des Plaquestoffwechsels, sondern auch auf der Modifizierung zellulärer Komponenten des Parodontiums beruht (O'Beirne et al., 1996; Robinson et al., 1997). Jones et al. erkannten, dass Schallenergie in vitro die Zellproliferation beeinflussen kann (Jones et al., 2000). Der Mechanismus des Einflusses auf Zellkulturen wird in schallinduzierten Zellvibrationen vermutet, die chemomechanische Reaktionen in Gang setzen und es Wachstumsfaktoren, Hormonen und Cytokinen ermöglichen, bestimmte Abschnitte des Genoms zu aktivieren (Pienta und Coffey, 1991).



Als besonders anfällig für Schall- und Ultraschallfrequenzen haben sich in vitro Spirochäten und Gram-negative, bewegliche Stäbchen erwiesen, die ein hohes pathogenes Potenzial in Bezug auf parodontale Erkrankungen besitzen. Sie sind vermutlich aufgrund ihrer äußeren Form gegenüber den Scherkräften im flüssigen Milieu weniger widerstandsfähig als kugelförmige Bakterien (Hope und Wilson, 2003). Verschiedene Studien konnten eine signifikante und beständige Reduktion ihrer Anzahl im Anschluss an subgingivales Scaling mit Schall- und/oder Ultraschallinstrumenten nachweisen (Baehni et al., 1992; Thilo und Baehni, 1987; Walmsley et al., 1988).

Die für die vorliegende Untersuchung interessantesten In-vitro-Studien beschäftigten sich mit den Wirkungen des Schalls auf die Entfernung menschlicher Plaque. Übereinstimmend kam man zu der Auffassung, dass die Hauptursache für die klinische Effektivität schallaktiver Bürsten ihre Fähigkeit zu sein scheint, Plaque außerhalb der physikalischen Reichweite ihrer Borsten zu entfernen (Engel et al., 1997; Hovland et al., 1995; Wu-Yuan et al., 1994). Stanford et al. wiesen nach, dass die schallaktive Zahnbürste (Sonicare®) im Gegensatz zu einer elektrischen Zahnbürste mit rotierenden Borstenbüscheln (Interplak®) in vitro in der Lage ist, in vivo erzeugte Plaque mit einem Abstand von drei Millimetern zu 56,8% von Schmelzproben zu beseitigen (Stanford et al., 1997). Park et al. zeigten, dass Strömungskräfte der schallaktiven Bürste bei einem Abstand von zwei Millimetern zwischen Zahnoberfläche und Borstenenden die Anzahl der Plaquebakterien um 85% reduzieren (Park et al., 1997). Hope et al. kamen in ihrer aktuellen Studie zu dem Ergebnis, dass die schallaktive Sonicare® bei einer Distanz von 2,65 mm mit 73,7% 20-mal mehr Bakterien von einer Zahnoberfläche entfernt als die gleiche Bürste in inaktivem Zustand (Hope und Wilson, 2003).

Andere In-vitro-Studien konzentrierten sich auf die Anwendungssicherheit schallaktiver Zahnbürsten. Die Untersuchung potenzieller Einflüsse auf Füllungs- und Kronenränder sowie die Haftkraft von Kronen ergab keine signifikanten Nachteile gegenüber manuellen Zahnbürsten (Donly et al., 1997; Hansen et al., 1998).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Ergebnisse der Laboruntersuchungen die schallaktive Zahnbürste als ein sicheres Instrument der Mundhygiene ausweisen, welches in seiner Effektivität sowohl Handzahnbürsten als auch rotierend-oszillierende Bürsten zu übertreffen scheint.

#### **2.2.4.4 In-vivo-Vergleiche elektrischer Bürsten**

Die vielversprechenden In-vitro-Ergebnisse zur Effektivität schallaktiver Bürsten wurden unter klinischen Bedingungen vielfach überprüft. Studien, in denen elektrische Zahnbürsten der zweiten und dritten Generation verglichen wurden, kamen zu überraschenden Ergebnissen. Aus ihnen gehen rotierend-oszillierende Bürsten meist als überlegen hervor.

In einer kombinierten In-vitro/In-vivo-Studie wurden vier elektrische Zahnbürsten (RotaDent<sup>®</sup>, Braun Oral-B<sup>®</sup>, Interplak<sup>®</sup>, Sonicare<sup>®</sup>) und eine Handzahnbürste untersucht. Nicht die Sonicare<sup>®</sup>, sondern die rotierende RotaDent<sup>®</sup> besaß die effektivste Kombination aus hoher Reinigungsleistung und geringer Abrasivität (Sarker et al., 1997). Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen auch Dörfer et al., die in ihrer klinischen Studie die Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> mit der schallaktiven Rowenta Dentasonic<sup>®</sup> verglichen (Dörfer et al., 2001).

Die Arbeitsgruppen um van der Weijden und Sharma verglichen die Effektivität von Braun Oral-B 3D<sup>®</sup> und Sonicare<sup>®</sup>. Sowohl in der Reinigungswirkung als auch in der subjektiven Bewertung durch die Probanden stellte sich Erstere auch hier als überlegen heraus. Bevorzugt wurde der kleinere Bürstenkopf und die damit verbundene bessere Manövrierbarkeit der Bürste (Sharma et al., 1998; Van der Weijden et al., 1996).

Isaacs et al. kamen nach einer sechswöchigen klinischen Untersuchung der elektrischen Bürsten zu folgenden Ergebnissen: Während hinsichtlich der Effektivität der Plaqueentfernung keine Unterschiede nachweisbar waren, war die Braun Oral-B Plak Control<sup>®</sup> der Sonicare<sup>®</sup> beim Bekämpfen von Gingivitis überlegen. In einer anschließenden Befragung gaben auch hier 65% der Probanden der rotierend-oszillierenden Bürste den Vorzug (Isaacs et al., 1998).

Grossman et al. verglichen die Braun Oral-B Plak Control® mit der Sonicare® in der häuslichen Anwendung über zwei Monate und konnten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Reduktion von Plaque und Gingivitis feststellen (Grossman und Proskin, 1995). Nur aus einem direkten Vergleich ging die Sonicare® als überlegen gegenüber der Braun Oral-B Plak Control® hervor. Den Autoren gelang es, im sechsten Monat einer Langzeituntersuchung signifikante Unterschiede bezüglich der interdentalen Plaquereduktion sowie der Reduktion gingivaler Blutungen und Sondierungstiefen zu Gunsten der schallaktiven Bürste nachzuweisen (Robinson et al., 1997). Bei der Studienpopulation handelte es sich jedoch ausschließlich um Patienten mit moderater Erwachsenenparodontitis.

Aus der vorangegangenen Gegenüberstellung wissenschaftlicher Arbeiten ergeben sich neben dem ungeklärten Effizienzunterschied zwischen Handzahnbürsten und elektrischen Bürsten weitere Widersprüche:

Die Ergebnisse der zahlreich abgehandelten In-vitro-Studien sowie In-vivo-Untersuchungen an Patienten mit eingeschränkter Mundhygienefähigkeit offenbarten ein wissenschaftlich fundiertes, äußerst vielfältiges Wirkungsspektrum und somit scheinbar außergewöhnliches Potenzial schallaktiver Zahnbürsten beim Einsatz in der Plaquekontrolle. Sie suggerieren deren Überlegenheit gegenüber manuellen und rotierend-oszillierenden Bürsten.

Folglich verwundern die Ergebnisse von In-vivo-Studien mit direktem Vergleich rotierend-oszillierender und schallaktiver Bürsten sehr, in deren Großteil sich die Vorteile Letzterer nicht bestätigten. Klinische Studien sprechen zwar für die Überlegenheit der Schalltechnologie gegenüber dem manuellen Putzen, lassen jedoch auf deren Unterlegenheit gegenüber rotierend-oszillierenden Bürsten schließen. Es bleibt die Frage offen, welches Zahnbürstendesign für die „breite“ Bevölkerung tatsächlich das effektivste ist.

### **3 Ziel der Untersuchung**

Das Ziel dieser Studie war es, zwei neu entwickelte elektrische Zahnbürsten der zweiten und dritten Generation in ihrer klinischen Effizienz wissenschaftlich zu untersuchen, um die in der Literaturrecherche dargestellten Ergebnisse zu ergänzen, Widersprüche aufzuklären und praktische Empfehlungen für den Verbraucher abzuleiten.

Das Einbeziehen einer manuellen Referenzzahnbürste in die Untersuchung erfolgte mit dem Ziel, eine Vergleichbarkeit mit anderen klinischen Studien zu ermöglichen.

Neben der objektiven Bewertung der Reinigungswirkung durch das Erheben von Mundhygieneindizes sollten im Rahmen der vorliegenden Arbeit durch einen Probandenfragebogen subjektive Wertungen zur Akzeptanz und Handhabung der Bürsten erfasst werden.

#### **3.1 Arbeitshypothesen**

1. Elektrische Bürsten können effektiver als manuelle Bürsten Plaque und Gingivitis reduzieren.
2. Schallaktive Bürsten sind rotierend-oszillierenden Bürsten dabei überlegen.

## 4 Material und Methode

### 4.1 Verwendete Zahnbürsten

Gegenstand der Effizienzprüfung waren die Handzahnbürste Elmex 29<sup>®</sup> sowie die elektrischen Zahnbürsten Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> und Cybersonic 2<sup>®</sup> (Abbildungen 2-4).



Abbildung 2:  
Elmex 29<sup>®</sup>



Abbildung 3:  
Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup>



Abbildung 4:  
Cybersonic 2<sup>®</sup>

#### 4.1.1 Elmex 29<sup>®</sup> (GABA, Lörrach, Deutschland)

Die Elmex 29<sup>®</sup> ist eine gerade Handzahnbürste, deren Bürstenkopf 19 mm lang und 10 mm breit ist. Sie besitzt 29 Borstenbüschel mit 870 endgerundeten Borsten, die jeweils 11 mm lang sind und einen mittleren Durchmesser von 0,21 mm aufweisen.

#### **4.1.2 Braun Oral-B 3D Excel® (D17, Braun, Kronberg, Deutschland)**

Die Braun Oral-B 3D Excel® ist eine elektrische Zahnbürste mit rundem Bürstenkopf, der sich sowohl oszillierend-rotierend als auch pulsierend bewegt. Die oszillierenden Rotationen erfolgen mit einem Winkel von 65° 7600 mal pro Minute. Simultan werden 40000 Pulsationen pro Minute erzeugt.

In ihrem Kopf, der einen Durchmesser von 13 mm aufweist, sind drei kreisförmig angeordnete Reihen von Borstenbüscheln mit insgesamt 1452 endgerundeten Borsten verankert. Die Bürste ist zweistufig geschnitten. Ihre äußeren Borsten sind ungefähr 0,7 mm länger als die inneren, deren Länge 7,3 mm beträgt. Sie weisen einen Durchmesser von 0,15 mm im äußeren und 0,13 mm in den inneren Ringen auf.

#### **4.1.3 Cybersonic 2® (Amden Corporation, Carson, USA)**

Die Cybersonic 2® stellt mit 41000 schwingenden Borstenbewegungen pro Minute den hochfrequentesten Vertreter der elektrischen Zahnbürsten mit Schalltechnologie dar. Ihr Bürstenkopf ist 26 mm lang, 12 mm breit und besteht aus 16 federnd gelagerten Borstenbüscheln. Die 1680 endgerundeten Borsten verfügen über eine Länge von 10 mm und einen Durchmesser von durchschnittlich 0,18 mm.

### **4.2 Studiendesign**

Die Studie wurde untersucherblind in parallelem Design angelegt. Sie umfasste vier aufeinander folgende experimentelle Phasen in Form von Screening-, Baseline-, Zwischen- und Abschlussuntersuchung, zwischen denen jeweils vierwöchige häusliche Anwendungen der Zahnbürsten stattfanden.

Die prospektive, klinisch kontrollierte Studie wurde von der Ethikkommission der Berliner Charité genehmigt (Nr. 2003-714), ihr Ablauf ist in Abbildung 5 dargestellt.

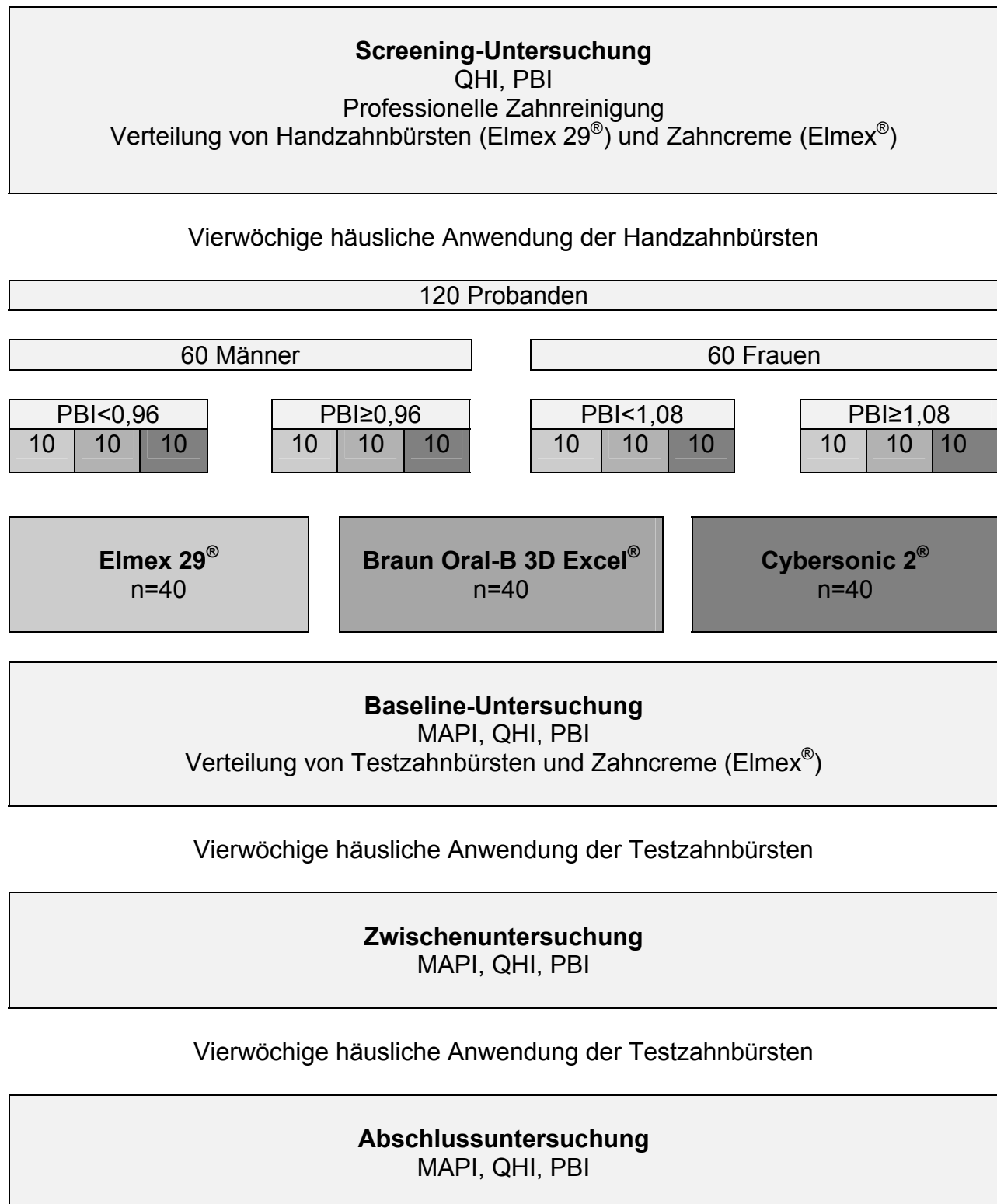


Abbildung 5: Ablauf der im Parallel-Design angelegten Studie

### **4.3 Vorbereitende Maßnahmen**

#### **4.3.1 Reproduzierbarkeitsprüfung**

Die Datenerhebung erfolgte nur durch eine Untersucherin (Juliane Strauss). Ihre Reproduzierbarkeit (intra-examiner reliability) wurde durch Messwiederholungen der Untersucherin vor Studienbeginn sichergestellt. Als Probanden für die Reliabilitätsprüfung wurden acht Patienten des Zentrums für Zahnmedizin der Charité herangezogen, die nicht zur Studienpopulation gehörten. Bei ihnen erhob die Untersucherin vor Studienbeginn im Abstand von jeweils 30 Minuten die Indizes QHI, MAPI und PBI zweimal. Zur Berechnung der Reliabilität wurde der Reliabilitätskoeffizient Kappa nach Cohen bestimmt.

#### **4.3.2 Bestimmung der Gruppengröße**

Zur Bestimmung der Gruppengröße wurde eine Power-Statistik gerechnet. Dabei wurde für alle drei Zielgrößen (API, PBI und QHI) davon ausgegangen, dass, bezogen auf die Verbesserungen zwischen Baseline und nach acht Wochen, ein Unterschied zwischen den Gruppen von minimal 0,1 mit einer Signifikanz von  $p < 0,05$  und einer Power von 80% nachgewiesen werden sollte. Daraus ergab sich eine erforderliche Mindestgröße von  $n=36$  pro Gruppe.

#### **4.3.3 Probandenmanagement**

##### **4.3.3.1 Probandenscreening**

120 Probanden wurden aus dem Patientengut der Zahnklinik und der medizinischen Kliniken der Charité rekrutiert. Ihre Eignung für eine Teilnahme an der Studie wurde in einer Screeninguntersuchung überprüft, in der die Zähne mit einem Plaquerelevator (Mira-2-tone<sup>®</sup>, Hager & Werken, Duisburg) angefärbt und folgende zwei Mundhygieneindizes erhoben wurden:

- Quigley-Hein Plaqueindex (QHI) (Quigley und Hein, 1962) modifiziert nach Turesky (Turesky et al., 1970),
- Papillenblutungsindex (PBI) (Saxer und Mühlemann, 1975).



Die Ergebnisse dieser klinischen Untersuchung sowie einer mündlichen Befragung der Probanden wurden nach folgenden Kriterien ausgewertet:

Einschlusskriterien:

- Alter zwischen 18 und 65 Jahren,
- Guter Allgemeinzustand,
- Mindestanzahl von 20 eigenen Zähnen,
- QHI pro Zahn  $\geq 2,0$ ,
- PBI pro Zahn  $\geq 0,5$ .

Ausschlusskriterien:

- Angehörige zahnmedizinischer Berufe,
- Regelmäßige Medikamenteneinnahme (besonders Antikoagulantien, Antibiotika und antiinflammatorisch wirkende Arzneimittel),
- Herausnehmbarer Zahnersatz,
- Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen,
- Dauerhafte Benutzung elektrischer Zahnbürsten,
- Fortgeschrittene parodontale Erkrankungen (definiert mit dem Vorliegen eines der folgenden klinischen Merkmale: Attachment-Verlust von mehr als vier Millimetern an mindestens drei Zähnen, Furkationsbeteiligung, pathologische Zahnbeweglichkeit).

Im Anschluss erhielt jeder Studienteilnehmer eine professionelle Zahnreinigung, in der die Untersucherin sämtliche Zahnbeläge entfernte. Den Patienten wurde ein Aufklärungsbogen vorgelegt, auf dem das Einverständnis zur Teilnahme an der Untersuchung schriftlich zu erklären war (Anhang Seite 114).

#### 4.3.3.2 Gruppenbildung

Die Probanden wurden nach Geschlecht und PBI stratifiziert. Dabei wurden die geschlechtsspezifisch unterschiedlichen PBI-Medianwerte des Screenings berücksichtigt. Es ergaben sich folgende vier Straten:

- Männlich, PBI < 0,96
- Männlich, PBI ≥ 0,96
- Weiblich, PBI < 1,08
- Weiblich, PBI ≥ 1,08.

Die Probanden der drei Testgruppen wurden anschließend in einem randomisierten Verfahren bestimmt. Dazu ordnete eine nicht an der Studie beteiligte Person den Individuen der durch Stratifizierung definierten vier Probandengruppen aus jeweils drei Umschlägen per Losverfahren die entsprechende Testzahnbürste zu. Der Untersucherin war während des gesamten klinischen Studienabschnittes nicht bekannt, welche Zahnbürste die jeweilige Testperson verwendete.

#### 4.4 Experimentelles Vorgehen

Unmittelbar im Anschluss an das Probandenscreening wurde eine Karenzzeit von vier Wochen eingehalten, bevor die Testphase der drei Zahnbürsten begann. Während des Wash-outs setzten die Probanden ihre gewohnten häuslichen Mundhygienemaßnahmen fort, verwendeten jedoch alle die gleiche Handzahnbürste (Elmex 29<sup>®</sup>) und Zahnpasta (Elmex<sup>®</sup>, GABA, Lörrach).

Am Tag der Baseline-Untersuchung händigte eine nicht an der Studie beteiligte Person unter Abwesenheit der Untersucherin jedem Probanden die ihm zugeteilte Testzahnbürste zusammen mit einem Kurzzeitwecker aus und vermittelte gleichzeitig kurze Instruktionen zu deren Handhabung, die jeweils ca. eine Minute in Anspruch nahmen.

#### **4.4.1 Probandeninstruktion**

Das Anwenden von Mundspüllösungen, Fluorid-Gelees und jeglichen Hilfsmitteln zur Reinigung der Interdentalräume war während der gesamten Studiendauer untersagt. Die Probanden wurden weiterhin belehrt, sich gegenüber der Untersucherin nicht über ihre Testzahnbürste zu äußern, um die untersucherblinde Durchführung der Studie nicht zu gefährden.

##### **4.4.1.1 Putztechnik**

Aufgrund des unterschiedlichen Bürstendesigns der drei zu untersuchenden Bürsten wurden den Teilnehmern der Gruppen jeweils unterschiedliche Putztechniken vermittelt, die jedoch alle ein systematisches Reinigen von vestibulären, oralen und okklusalen Zahnflächen beinhalteten.

Bei den elektrischen Zahnbürsten fanden die Instruktionen in Anlehnung an die Herstellerempfehlungen statt. Der Bürstenkopf der Braun Oral-B 3D Excel® wird demzufolge mit dem Borstenfeld auf die entsprechende Zahnfläche aufgesetzt und langsam von Zahn zu Zahn geführt. Oral und vestibulär erfolgt diese Bewegung mit Kontakt zum Gingivalsaum. Auch für die Cybersonic 2® gilt diese Putztechnik, allerdings soll deren Bürstenkopf oral und vestibulär in Anlehnung an die Bass-Technik im 45°-Winkel zur Längsachse der Zähne positioniert werden.

Für die manuelle Zahnbürste wurde die Bass-Technik demonstriert. An oralen und vestibulären Flächen werden die Borsten in einem Winkel von 45° zur Zahnoberfläche angesetzt und infiltrieren so leicht den gingivalen Sulkus. Die Reinigung erfolgt durch kleine Rüttelbewegungen (Bass, 1954). Im Bereich der Okklusalfächen werden alle Zahnbürsten durch großzügige Hin-und-her-Bewegungen angewendet.

##### **4.4.1.2 Putzdauer**

Allen Probanden wurde vorgeschrieben, unter häuslichen Bedingungen zweimal täglich zwei Minuten lang mit der zugeteilten Testzahnbürste und einheitlicher Zahnpasta (Elmex®, GABA, Lörrach) ihre Zähne zu bürsten. Zur Kontrolle der Putzzeit diente ein digitaler Kurzzeitwecker. Bezüglich der Zeitpunkte für die zweimalige tägliche Zahnreinigung wurde das Putzen nach dem Frühstück und Abendbrot empfohlen.

#### 4.4.2 Klinische Untersuchung

Alle Untersuchungen erfolgten einfach blind und wurden durch dieselbe Untersucherin durchgeführt. Baseline-, Zwischen- und Abschlussuntersuchung fanden nacheinander jeweils im Abstand von vier Wochen im Zentrum für Zahnmedizin der Berliner Charité statt.

An jedem Untersuchungstag wurden die Zahnbeläge der Probanden durch Auftragen eines Plaquerelevators (Mira-2-tone<sup>®</sup>, Hager & Werken, Duisburg) mit Hilfe eines Wattepellets angefärbt. Das Erheben der Putzeffektivität der Zahnbürsten erfolgte mittels folgender drei Parameter:

- Quigley-Hein Plaque-Index (QHI) (Quigley und Hein, 1962) modifiziert nach Turesky (Turesky et al., 1970),
- Approximaler Plaque-Index (API) (Lange et al., 1977) modifiziert nach Silness und Loe (MAPI) (Silness und Loe, 1964),
- Papillenblutungsindex (PBI) (Saxer und Mühlemann, 1975).

Dritte Molaren wurden von der Analyse ausgeschlossen.

##### 4.4.2.1 Definition der verwendeten Indizes zur Objektivierung der Mundhygiene

###### 4.4.2.1.1 QHI

Der Plaque-Index nach Quigley und Hein, modifiziert nach Turesky (QHI), bewertet den Plaque-Befall der vestibulären und oralen Zahnflächen nach Anfärben mit einem Plaquerelevator (Quigley und Hein, 1962; Turesky et al., 1970). Die sechs Schweregrade werden folgendermaßen definiert (Tabelle 2):

*Tabelle 2: Graduierung des QHI*

QHI Code	Diagnose
0	Keine Plaque
1	Vereinzelte Plaqueinseln am Gingivalsaum
2	Durchgezogene Plaquelinie am Gingivalsaum
3	Plaque bedeckt bis zu ein Drittel der Zahnfläche
4	Plaque bedeckt bis zu zwei Drittel der Zahnfläche
5	Plaque bedeckt mehr als zwei Drittel der Zahnfläche

#### 4.4.2.1.2 MAPI

Der Approximalraum-Plaque-Index (API) nach Lange beurteilt die Plaque in den Approximalräumen (Lange et al., 1977). In der Modifizierung nach Silness und Loe (MAPI) werden nach Anfärben mit einem Relevator vier Schweregrade unterschieden (Silness und Loe, 1964), die wie folgt definiert sind (Tabelle 3):

*Tabelle 3: Graduierung des MAPI*

MAPI Code	Diagnose
0	Keine Plaque
1	Vereinzelte Plaqueinseln bzw. dünne Plaquelinie
2	Durchgezogene dünne Plaquefläche
3	Plaquerbefall des gesamten Approximalraumes

#### 4.4.2.1.3 PBI

Der Papillenblutungsindex nach Saxer und Mühlemann (PBI) bewertet den Entzündungszustand des marginalen Parodonts (Saxer und Mühlemann, 1975). Er erfasst den Schweregrad der gingivalen Entzündung anhand der Intensität der Blutung nach Provokation.

Mit einer stumpfen parodontalen Sonde wird der Sulkus von der Basis der Papille zur Papillenspitze hin vorsichtig mit einem Druck von 20-25 cN ausgestrichen. Dabei ist ein Winkel von 20-40° zwischen Zahnoberfläche und Sonde einzuhalten. Zur korrekten Beurteilung der Blutungssymptomatik wird nach jeder Sondierung ca. zehn Sekunden gewartet, da es je nach Entzündungszustand einige Sekunden dauern kann, bis die Blutung auftritt. Die Intensität der Sulkusblutung wird in fünf Schweregrade eingeteilt, die folgendermaßen definiert sind (Tabelle 4):

*Tabelle 4: Graduierung des PBI*

<b>PBI Code</b>	<b>Diagnose</b>
0	Keine Blutung
1	Isolierte Blutpunkte
2	Dünne Blutlinie oder diskreter interdentaler Blutfleck
3	Das interdentale Dreieck füllt sich kurz nach der Sondierung mit Blut
4	Starke Blutung beim Sondieren, das Blut im interdentalen Dreieck fließt sofort in den marginalen Sulkus

#### **4.4.3 Fragebogen**

Um die subjektive Bewertung der Zahnbürsten durch die Probanden zu ermitteln und somit die Fragestellungen der Akzeptanz und Handhabung der Geräte zu bearbeiten, ist ein Fragebogen zur jeweiligen Testzahnbürste erarbeitet worden (Seite 48). Die Probanden füllten ihn am letzten Untersuchungstag im Anschluss an die klinische Untersuchung aus.

#### **4.5 Dokumentation und statistische Auswertung der Daten**

Die Aufzeichnung der Untersuchungsdaten erfolgte manuell auf Untersuchungsbögen. Sie wurden anschließend in die Statistik-Datei SPSS 11.0 (Superior Performing Software System) für Windows übertragen, mit der sämtliche Daten analysiert wurden. Im Rahmen der deskriptiven Statistik erfolgte für alle erhobenen Mundhygieneindizes zunächst die Summierung der Einzelbefunde jedes Zahnes für jeden Patienten. Zur Charakterisierung der Verteilung wurden der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung, sowie der Medianwert bestimmt.

Die Indizes wurden durch den Kolmogorov-Smirnov-Test mit negativem Ergebnis auf Normalverteilung geprüft. Zur Berechnung der Unterschiede zwischen Baseline-, Zwischen- und Abschlussuntersuchung wurde deshalb der Medianwert herangezogen. Für die anschließende statistische Analyse mit SPSS kamen folgende nonparametrischen Tests zur Anwendung:

- Der Vergleich der Indizes erfolgte mit dem Mann-Whitney U-Test und dem Kruskal-Wallis-Test.
- Für den Vergleich der Testzahnbürsten wurden der Wilcoxon-Test mit  $\alpha$ -Adjustierung sowie der Friedmann-Test herangezogen.

Bei jeder Analyse galt der Proband als statistische Einheit. Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Tests mit  $\alpha = 0,05$  festgesetzt. Eine Nullhypothese  $H_0$  wurde dann verworfen und das Ergebnis als statistisch signifikant bezeichnet, wenn dieser Wert unterschritten wurde ( $p < 0,05$ ).

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Reliabilität

Die für die Prüfung der Reproduzierbarkeit des Erhebens der Indizes aufgenommenen MAPI-, QHI- und PBI-Daten wurden mit dem Kappa-Test nach Cohen statistisch ausgewertet. Die ermittelten Kappa-Koeffizienten sind aus Tabelle 5 ersichtlich.

*Tabelle 5: Reliabilitäts-Koeffizient Kappa für die Indizes MAPI, QHI und PBI*

Index	Kappa
MAPI	0,87
QHI	0,86
PBI	0,69

### 5.2 Statistische Auswertung

Alle Teilnehmer konnten in die statistische Auswertung der Ergebnisse einbezogen werden. Ihr durchschnittliches Alter betrug 34,1 Jahre (Standardabweichung: 12,2). Zwischen den Gruppen gab es keine statistisch signifikanten Alters- und Geschlechtsunterschiede (ANOVA, Bonferroni Posthoc-Test).

### 5.3 Ergebnisse der häuslichen Zahnreinigung

Tabelle 6 stellt dar, dass nach vier und acht Wochen, alle Indizes betreffend, die Anwendung der elektrischen Bürsten in Verbesserungen resultierte, die statistisch signifikant denen der Handzahnbürste überlegen waren.

Die elektrischen Bürsten unterschieden sich nur teilweise statistisch signifikant. Die Braun Oral-B 3D Excel® war der Cybersonic 2® im Hinblick auf den MAPI nach acht Wochen ( $p < 0,05$ ) und den PBI nach vier und acht Wochen überlegen ( $p < 0,01$ ).



*Tabelle 6: Medianwerte (5. / 95. Perzentile) der Indizes MAPI, QHI und PBI zu den drei Untersuchungszeitpunkten für alle untersuchten Zähne bzw. Zahnflächen.*

*Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.*

*Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt:*

*\* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .*

<b>MAPI, QHI und PBI</b>			
Zeitpunkt \ Bürste	<b>Elmex 29<sup>®</sup></b>	<b>Braun 3D Excel<sup>®</sup></b>	<b>Cybersonic 2<sup>®</sup></b>
<b>MAPI gesamt</b>			
Baseline	2,16 (1,78/ 2,50)	2,30 (1,84/ 2,60)	2,23 (1,76/ 2,67)
4. Woche	2,09 (1,76/ 2,48) a*	2,02 (1,56/ 2,31)	2,00 (1,38/ 2,36) a*
8. Woche	2,13 (1,78/ 2,48) a***, b***	1,84 (1,44/ 2,26) a***	1,99 (1,37/ 2,25) b***
<b>QHI gesamt</b>			
Baseline	2,23 (1,85/ 2,66) a*	2,29 (2,08/ 2,62)	2,32 (2,07/ 3,00) a*
4. Woche	2,15 (1,80/ 2,57)	2,04 (1,78/ 2,52)	2,11 (1,52/ 2,45)
8. Woche	2,16 (1,82/ 2,52) a***, b**	1,92 (1,36/ 2,35) a***	1,99 (1,42/ 2,31) b**
<b>PBI gesamt</b>			
Baseline	1,17 (0,64/ 1,96) a*	1,37 (0,75/ 2,18)	1,39 (0,81/ 2,36) a*
4. Woche	1,17 (0,63/ 1,90) a*	0,89 (0,38/ 1,62) a*, b*	1,15 (0,52/ 2,07) b*
8. Woche	1,21 (0,68/ 1,80) a***	0,71 (0,27/ 1,51) a***, b**	1,01 (0,38/ 1,76) b**

Da PBI und QHI statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen Elmex 29<sup>®</sup> und Cybersonic 2<sup>®</sup> bei der Baseline-Untersuchung aufwiesen ( $p < 0,05$ ), wurden für den folgenden Effektivitätsvergleich der drei Bürsten die Veränderungen der Indizes im Untersuchungszeitraum herangezogen.

### 5.3.1 Effektivität der approximalen Plaqueentfernung

Aus Abbildung 6 und Tabelle 7 ist ersichtlich, dass die Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> und die Cybersonic 2<sup>®</sup> den entsprechenden initialen MAPI aller Zähne sowohl nach vier (Braun: 0,20; Cybersonic: 0,21), als auch nach acht Wochen (Braun: 0,36; Cybersonic: 0,28) um ein größeres Maß reduzierten, als die Elmex 29<sup>®</sup> (0,04/ 0,03). Diese Überlegenheit ist statistisch hoch signifikant ( $p < 0,001$ ).

Zwischen der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> und der Cybersonic 2<sup>®</sup> unterschied sich die Reduktion des MAPI nach vier Wochen nicht signifikant (Braun: 0,20; Cybersonic: 0,21), während Erstere nach acht Wochen signifikant mehr proximale Plaque entfernte als Cybersonic 2<sup>®</sup> (Braun: 0,36; Cybersonic: 0,28) ( $p < 0,05$ ).

Aus der Differenzierung des MAPI hinsichtlich Front- und Seitenzahnggebiet ergeben sich ortspezifische Abweichungen gegenüber der Gesamteffektivität (Tabelle 7). Im Frontzahnggebiet bestand keine statistisch signifikante Überlegenheit der Cybersonic 2<sup>®</sup> gegenüber der Handzahnbürste zwischen der vierten und achten Woche (Elmex: 0,00; Cybersonic: 0,02). Im Seitenzahnggebiet blieben statistisch signifikante Unterschiede zwischen beiden elektrischen Bürsten nach acht Wochen aus (Braun: 0,34; Cybersonic: 0,25).

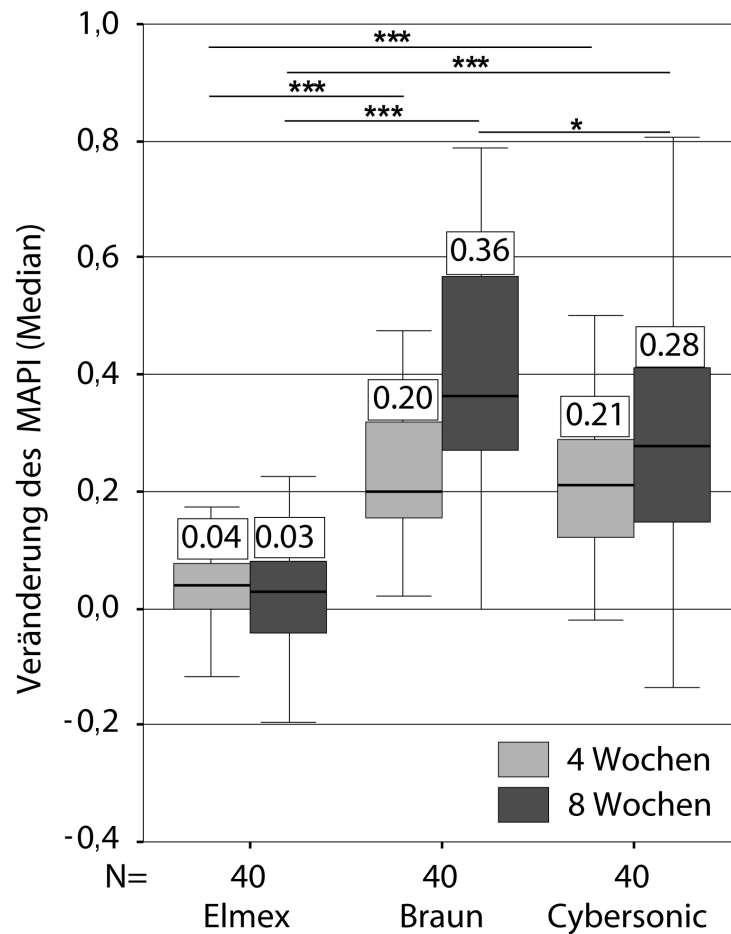


Abbildung 6: Veränderung des modifizierten approximalen Plaqueindex (MAPI) vier und acht Wochen nach Baseline.

Das Boxplot-Diagramm demonstriert Medianwerte, 25. und 75. Perzentile sowie die Streuung der Messwerte. Die horizontalen Balken demonstrieren statistisch signifikante Unterschiede.

Das Signifikanzniveau ist wie folgt verschlüsselt: \* =  $p < 0,05$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .

*Tabelle 7: Medianwerte (5. / 95. Perzentile) der MAPI-Differenzen zwischen den drei Untersuchungszeitpunkten, aufgeschlüsselt in Front- und Seitenzähne.*

*Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.*

*Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt:*

*\* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .*

<b>MAPI - Differenzen</b>			
Differenz \ Bürste	<b>Elmex 29<sup>®</sup></b>	<b>Braun 3D Excel<sup>®</sup></b>	<b>Cybersonic 2<sup>®</sup></b>
<b>MAPI gesamt</b>			
Baseline – 4. Woche	0,04 (0,11/ 0,13) a***, b***	0,20 (0,07/ 0,44) b***	0,21 (0,02/ 0,63) a***
4. – 8. Woche	0,00 (0,12/ 0,13) a*, b***	0,10 (0,06/ 0,54) b***, c*	0,06 (0,28/ 0,49) a*, c*
Baseline – 8. Woche	0,03 (0,11/ 0,21) a***, b***	0,36 (0,07/ 0,78) b***, c*	0,28 (0,03/ 0,86) a***, c*
<b>MAPI Frontzahngebiet</b>			
Baseline – 4. Woche	0,10 (0,20/ 0,25) a***, b***	0,25 (0,05/ 0,50) b***	0,20 (0,10/ 0,75) a***
4. – 8. Woche	0,00 (0,34/ 0,20) a***	0,13 (0,16/ 0,66) a***, b*	0,02 (0,35/ 0,45) b*
Baseline – 8. Woche	0,02 (0,30/ 0,28) a***, b***	0,34 (0,10/ 0,99) b***, c*	0,23 (0,10/ 0,70) a***, c*
<b>MAPI Seitenzahngebiet</b>			
Baseline – 4. Woche	0,03 (0,16/ 0,15) a***, b***	0,19 (0,06/ 0,47) b***	0,21 (0,03/ 0,62) a***
4. – 8. Woche	0,00 (0,20/ 0,25) a***	0,16 (0,17/ 0,56) a***, b*	0,07 (0,31/ 0,53) b*
Baseline – 8. Woche	0,00 (0,13/ 0,33) a***, b***	0,34 (0,07/ 0,86) b***	0,25 (0,09/ 0,96) a***

### 5.3.2 Effektivität der Plaqueentfernung auf Glattflächen

Wie in Abbildung 7 und Tabelle 8 dargestellt, reduzierten sowohl Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> als auch Cybersonic 2<sup>®</sup> den jeweiligen initialen QHI aller Zähne nach vier (Braun: 0,22; Cybersonic: 0,23) und acht Wochen (Braun: 0,35; Cybersonic: 0,41) statistisch hoch signifikant stärker als Elmex 29<sup>®</sup> (0,07/ 0,08) ( $p < 0,001$ ). Weder nach vier noch nach acht Wochen unterschieden sich Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> und Cybersonic 2<sup>®</sup> in ihrer Effektivität signifikant.

Bei der Differenzierung des QHI hinsichtlich Front- und Seitenzahngebiet fällt nur im Frontzahngebiet eine ortsspezifische Abweichung von der Gesamteffektivität auf (Tabelle 8). Hier bestand zwischen der vierten und achten Woche ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den elektrischen Bürsten zugunsten der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> (Braun: 0,18; Cybersonic: 0,05) ( $p < 0,01$ ).

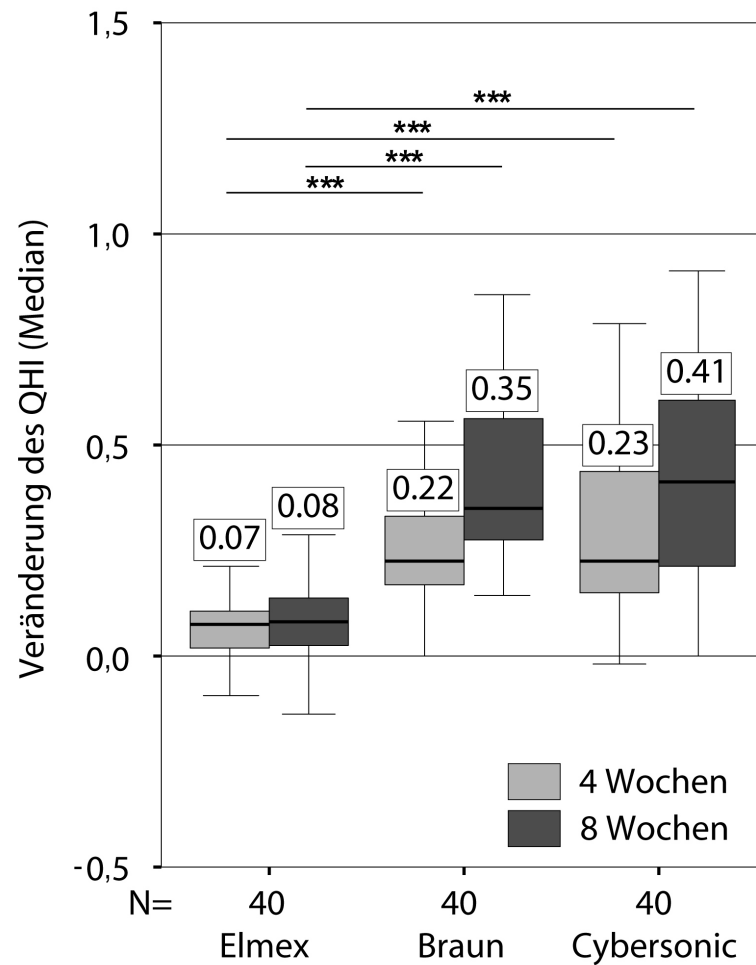


Abbildung 7: Veränderung des Quigley-Hein-Plaquesindex (QHI) vier und acht Wochen nach Baseline.

Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt: \*\*\* =  $p < 0,001$ .

*Tabelle 8: Medianwerte (5. / 95. Perzentile) der QHI-Differenzen zwischen den drei Untersuchungszeitpunkten, aufgeschlüsselt in Front- und Seitenzähne.*

*Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.*

*Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt:*

*\* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .*

<b>QHI – Differenzen</b>			
Differenz \ Bürste	<b>Elmex 29®</b>	<b>Braun 3D Excel®</b>	<b>Cybersonic 2®</b>
<b>QHI gesamt</b>			
Baseline – 4. Woche	0,07 (0,06/ 0,21) a***, b***	0,22 (0,07/ 0,59) b***	0,23 (0,04/ 0,78) a***
4. – 8. Woche	0,03 (0,19/ 0,15) a**, b***	0,13 (0,02/ 0,57) b***	0,07 (0,12/ 0,62) a**
Baseline – 8. Woche	0,08 (0,13/ 0,28) a***, b***	0,35 (0,14/ 0,99) b***	0,41 (0,02/ 0,90) a***
<b>QHI Frontzahngebiet</b>			
Baseline – 4. Woche	0,10 (0,10/ 0,31) a***, b***	0,21 (0,05/ 0,66) b***	0,20 (0,05/ 1,04) a***
4. – 8. Woche	0,00 (0,34/ 0,20) a*, b***	0,18 (0,17/ 0,79) b***, c**	0,05 (0,30/ 0,60) a*, c**
Baseline - 8. Woche	0,10 (0,30/ 0,31) a***, b***	0,37 (0,10/ 1,10) b***	0,45 (0,05/ 0,94) a***
<b>QHI Seitenzahngebiet</b>			
Baseline – 4. Woche	0,03 (0,08/ 0,31) a***, b***	0,22 (0,03/ 0,72) b***	0,19 (0,03/ 0,88) a***
4. – 8. Woche	0,05 (0,20/ 0,28) a*, b**	0,14 (0,16/ 0,47) b**	0,09 (0,24/ 0,62) a*
Baseline – 8. Woche	0,09 (0,12/ 0,40) a***, b***	0,38 (0,06/ 0,94) b***	0,44 (0,06/ 0,93) a***

### 5.3.3 Effektivität der Gingivitisprävention

Sowohl nach vier (Braun: 0,39; Cybersonic: 0,25), als auch nach acht Wochen (Braun: 0,61; Cybersonic: 0,36) reduzierten Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> und Cybersonic 2<sup>®</sup> den jeweiligen initialen PBI aller Zähne statistisch hoch signifikant stärker, als es die Elmex 29<sup>®</sup> (0,02/0,10) vermochte ( $p < 0,001$ ). Die Daten sind in Abbildung 8 und Tabelle 9 dargestellt.

Die Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> war der Cybersonic 2<sup>®</sup> bei der Reduktion der Papillenblutung nach vier (Braun: 0,39; Cybersonic: 0,25) und acht Wochen (Braun: 0,61; Cybersonic: 0,36) signifikant überlegen ( $p < 0,01$ ).

Die Aufschlüsselung des PBI hinsichtlich Front- und Seitenzahngebiet enthüllt folgende ortspezifische Abweichungen von der Gesamteffektivität (Tabelle 9):

Im Frontzahngebiet lagen nach vier Wochen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den elektrischen Bürsten vor (Braun: 0,32; Cybersonic: 0,23). Im Seitenzahngebiet existierten zwischen der Handzahnbürste und der Cybersonic 2<sup>®</sup> keine signifikanten Unterschiede im Zeitraum vierte bis achte Woche (Elmex: 0,03; Cybersonic: 0,09).



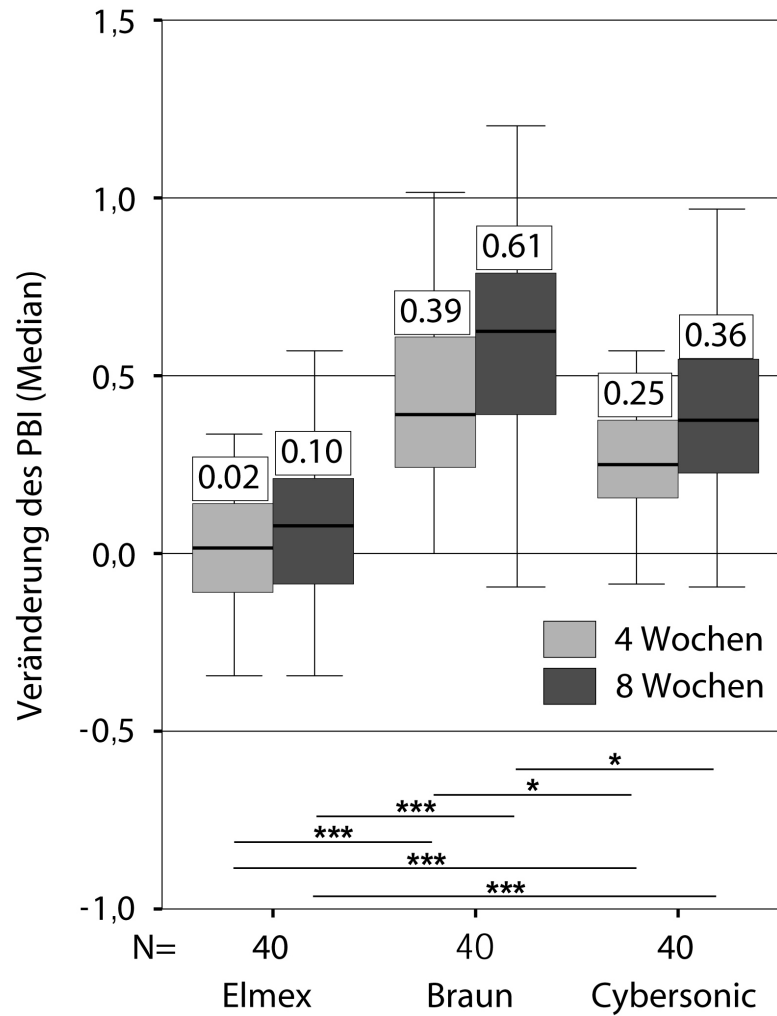


Abbildung 8: Veränderung des Papillenblutungsindex (PBI) vier und acht Wochen nach Baseline. Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt:

\* =  $p < 0,05$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .

*Tabelle 9: Medianwerte (5. / 95. Perzentile) der PBI-Differenzen zwischen den drei Untersuchungszeitpunkten, aufgeschlüsselt in Front- und Seitenzähne.*

*Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.*

*Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt:*

*\* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .*

<b>PBI - Differenzen</b>			
Differenz \ Bürste	<b>Elmex 29<sup>®</sup></b>	<b>Braun 3D Excel<sup>®</sup></b>	<b>Cybersonic 2<sup>®</sup></b>
<b>PBI gesamt</b>			
Baseline – 4. Woche	0,02 (0,32/ 0,29) a***, b***	0,39 (0,09/ 0,74) b***, c**	0,25 (0,09/ 0,56) a***, c**
4. – 8. Woche	0,02 (0,28/ 0,20) a**, b*	0,15 (0,16/ 0,56) a**	0,12 (0,16/ 0,57) b*
Baseline – 8. Woche	0,10 (0,39/ 0,37) a***, b***	0,61 (0,11/ 1,07) b***, c***	0,36 (0,02/ 0,85) a***, c***
<b>PBI Frontzahngebiet</b>			
Baseline – 4. Woche	0,02 (0,45/ 0,64) a***, b***	0,32 (0,20/ 1,05) b***	0,23 (0,34/ 0,60) a***
4. – 8. Woche	0,05 (0,54/ 0,30) a*, b***	0,16 (0,33/ 0,60) b***	0,13 (0,30/ 0,65) a*
Baseline - 8. Woche	0,05 (0,69/ 0,60) a***, b***	0,55 (0,20/ 1,30) b***, c**	0,35 (0,20/ 0,95) a***, c**
<b>PBI Seitenzahngebiet</b>			
Baseline – 4. Woche	0,03 (0,34/ 0,32) a***, b***	0,38 (0,04/ 0,99) b***, c**	0,25 (0,19/ 0,66) a***, c**
4. – 8. Woche	0,03 (0,24/ 0,34) a**	0,17 (0,40/ 0,58) a**	0,09 (0,22/ 0,63)
Baseline – 8. Woche	0,08 (0,34/ 0,38) a***, b***	0,63 (0,01/ 1,03) b***, c***	0,38 (0,09/ 0,90) a***, c***

### **5.3.4 Effektivität der Plaqueentfernung auf vestibulären Flächen**

Die Reinigungseffektivität der drei Testbürsten war an den vestibulären Flächen der Zähne vergleichsweise besser als bei der Gesamtbetrachtung aller zu reinigenden Flächen (Tabelle 10). Eine Ausnahme bildet die Cybersonic 2<sup>®</sup>, die den MAPI über den Untersuchungszeitraum an vestibulären Flächen und insgesamt gleichermaßen reduzierte (0,27/0,28).

### **5.3.5 Effektivität der Plaqueentfernung auf oralen Flächen**

Auf den oralen Flächen der Zähne erwies sich die Reinigungswirkung der drei Testbürsten dementsprechend deutlich geringer als auf den vestibulären (Tabelle 11). Einzige Ausnahme bildet die Cybersonic 2<sup>®</sup> bezüglich des MAPI, den sie oral über den gesamten Untersuchungszeitraum stärker reduzierte (0,35) als vestibulär (0,27).

Die Unterschiede zwischen der Effektivität jeder einzelnen Bürste an vestibulären und oralen Flächen waren bei der Handzahnbürste weitaus deutlicher ausgeprägt, als bei den elektrischen Bürsten.

Im Vergleich beider elektrischer Bürsten fielen die Effektivitätsdifferenzen oral wesentlich geringer aus als vestibulär. Hier unterschieden sie sich nur hinsichtlich des PBI signifikant zugunsten der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> ( $p < 0,05$ ).

*Tabelle 10: Medianwerte (5. / 95. Perzentile) der Differenzen der Indizes MAPI, QHI und PBI zwischen den drei Untersuchungszeitpunkten an vestibulären Flächen.*

*Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.*

*Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt:*

*\* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .*

<b>Differenzen von MAPI, QHI und PBI an vestibulären Flächen</b>			
Differenz \ Bürste	<b>Elmex 29<sup>®</sup></b>	<b>Braun 3D Excel<sup>®</sup></b>	<b>Cybersonic 2<sup>®</sup></b>
<b>MAPI vestibulär</b>			
Baseline – 4. Woche	0,04 (0,23/ 0,27) a**, b***	0,20 (0,12/ 0,65) b***	0,18 (0,12/ 0,75) a**
4. - 8 Woche	0,00 (0,17/ 0,20) a***	0,19 (0,23/ 0,58) a***, b**	0,08 (0,38/ 0,50) b**
Baseline – 8. Woche	0,05 (0,26/ 0,42) a**, b***	0,41 (0,08/ 1,00) b***, c*	0,27 (0,34/ 0,88) a**, c*
<b>QHI vestibulär</b>			
Baseline – 4. Woche	0,10 (0,20/ 0,25) a***, b***	0,23 (0,00/ 0,71) b***	0,27 (0,10/ 0,75) a***
4. – 8. Woche	0,04 (0,34/ 0,20) a***	0,18 (0,22/ 0,87) a***	0,08 (0,35/ 0,45)
Baseline - 8. Woche	0,14 (0,30/ 0,28) a***, b***	0,51 (0,11/ 1,38) b***	0,48 (0,10/ 0,70) a***
<b>PBI vestibulär</b>			
Baseline – 4. Woche	0,05 (0,28/ 0,43) a***, b***	0,46 (0,07/ 0,99) b***, c***	0,21 (0,11/ 0,57) a***, c***
4. – 8. Woche	0,04 (0,18/ 0,38) a*, b***	0,19 (0,14/ 0,57) b***	0,14 (0,24/ 0,67) a*
Baseline – 8. Woche	0,12 (0,25/ 0,50) a***, b***	0,64 (0,11/ 1,18) b***, c**	0,39 (0,18/ 1,03) a***, c**

*Tabelle 11: Medianwerte (5. / 95. Perzentile) der Differenzen der Indizes MAPI, QHI und PBI zwischen den drei Untersuchungszeitpunkten an oralen Flächen.*

*Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.*

*Das Signifikanzniveau ist folgendermaßen verschlüsselt:*

*\* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .*

<b>Differenzen von MAPI, QHI und PBI an oralen Flächen</b>			
Differenz \ Bürste	<b>Elmex 29<sup>®</sup></b>	<b>Braun 3D Excel<sup>®</sup></b>	<b>Cybersonic 2<sup>®</sup></b>
<b>MAPI oral</b>			
Baseline – 4. Woche	0,00 (0,19/ 0,18) a***, b***	0,23 (0,00/ 0,46) b***	0,22 (0,00/ 0,65) a***
4. – 8. Woche	0,02 (0,21/ 0,15) a**, b***	0,10 (0,15/ 0,69) b***	0,04 (0,31/ 0,42) a**
Baseline – 8. Woche	0,02 (0,23/ 0,23) a***, b***	0,31 (0,00/ 0,88) b***	0,35 (0,00/ 0,82) a***
<b>QHI oral</b>			
Baseline – 4. Woche	0,04 (0,08/ 0,31) a***, b***	0,19 (0,13/ 0,70) b***	0,25 (0,03/ 0,85) a***
4. – 8. Woche	0,00 (0,28/ 0,18) a**	0,07 (0,12/ 0,39) a**	0,05 (0,35/ 0,74)
Baseline – 8. Woche	0,04 (0,11/ 0,32) a***, b***	0,34 (0,11/ 0,81) b***	0,33 (0,04/ 0,93) a***
<b>PBI oral</b>			
Baseline – 4. Woche	0,00 (0,66/ 0,36) a***, b***	0,38 (0,00/ 0,89) b***	0,28 (0,35/ 0,82) a***
4. – 8. Woche	0,02 (0,56/ 0,23) a**	0,16 (0,43/ 0,81) a**	0,09 (0,25/ 0,48)
Baseline – 8. Woche	0,02 (0,60/ 0,56) a***, b***	0,52 (0,10/ 1,11) b***, c*	0,36 (0,10/ 0,90) a***, c*

#### 5.4 Ergebnisse der Fragebogenauswertung

Alle 120 Fragebögen der Studienteilnehmer wurden in die Auswertung einbezogen. Die Bewertungen der Fragen 1-22 des Fragebogens werden im Folgenden zusammengefasst für alle Probanden dargestellt (Tabellen 12-33).

Tabelle 12

Sind bei der Benutzung der Zahnbürste Beschwerden an den Zähnen aufgetreten?				
Urteil \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Ja	3	2	3	8
Nein	37	38	37	112
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 13

Sind bei der Benutzung der Zahnbürste Beschwerden am Zahnfleisch aufgetreten?				
Urteil \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Ja	14	1	6	21
Nein	26	39	34	99
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 14

Haben Sie störende Kanten an der Zahnbürste entdeckt?			
Urteil \ Bürste	Braun 3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Ja	3	4	7
Nein	37	36	73
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 15

Wie finden Sie die Größe des Bürstenkopfes?				
Note \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	7	20	11	38
Gut	14	16	19	49
Befriedigend	6	4	8	18
Ausreichend	7	0	1	8
Mangelhaft	6	0	1	7
Durchschnitt	2,7	1,6	2,0	
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 16

Wie finden Sie die Größe der ganzen Zahnbürste?				
Note \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	8	15	6	29
Gut	15	19	24	58
Befriedigend	8	2	3	13
Ausreichend	7	4	4	15
Mangelhaft	2	0	3	5
Durchschnitt	2,5	1,8	2,3	
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 17

Finden Sie die Zahnbürste „handlich“?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	12	8	20
Gut	21	22	43
Befriedigend	4	7	11
Ausreichend	3	2	5
Mangelhaft	0	1	1
Durchschnitt	1,9	2,1	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 18

Wie finden Sie das Gewicht der Zahnbürste?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	8	8	16
Gut	26	17	43
Befriedigend	4	13	17
Ausreichend	1	1	2
Mangelhaft	1	1	2
Durchschnitt	2,0	2,2	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 19

Wie finden Sie die Schwerpunktlage der Zahnbürste?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	8	5	13
Gut	24	28	52
Befriedigend	7	6	13
Ausreichend	1	0	1
Mangelhaft	0	1	1
Durchschnitt	2,0	2,1	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 20

Wie finden Sie die Benutzung an schwer erreichbaren Stellen?				
Note \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	3	13	6	22
Gut	14	14	13	41
Befriedigend	16	6	15	37
Ausreichend	5	6	2	13
Mangelhaft	2	1	4	7
Durchschnitt	2,7	2,2	2,6	
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 21

Wie finden Sie die Borstenhärte der Zahnbürste?				
Note \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	5	17	14	36
Gut	12	16	13	41
Befriedigend	9	2	9	20
Ausreichend	3	5	2	10
Mangelhaft	11	0	2	13
Durchschnitt	3,0	1,8	2,1	
Gesamtzahl	40	40	40	120



Tabelle 22

Wie empfanden Sie die beim Putzen mit der Zahnbürste auftretenden Vibrationen?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel®	Cybersonic 2®	Gesamtzahl
Sehr gut	7	4	11
Gut	18	18	36
Befriedigend	9	10	19
Ausreichend	5	5	10
Mangelhaft	1	3	4
Durchschnitt	2,3	2,6	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 23

Wie schnell haben Sie sich an die Benutzung der Zahnbürste gewöhnt?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel®	Cybersonic 2®	Gesamtzahl
Sehr gut	18	13	31
Gut	15	13	28
Befriedigend	7	13	20
Ausreichend	0	1	1
Mangelhaft	0	0	0
Durchschnitt	1,7	2,0	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 24

Wie fühlten sich Ihre Zähne nach der Benutzung der Zahnbürste bei Berührung mit der Zunge an?				
Note \ Bürste	Elmex 29®	Braun 3DExcel®	Cybersonic 2®	Gesamtzahl
Sehr gut	7	23	20	50
Gut	18	16	14	48
Befriedigend	10	0	5	15
Ausreichend	4	1	1	6
Mangelhaft	0	0	0	0
Durchschnitt	2,2	1,4	1,6	
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 25

Wie empfanden Sie das Geräusch der Zahnbürste?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	2	3	5
Gut	12	5	17
Befriedigend	13	12	25
Ausreichend	6	9	15
Mangelhaft	7	11	18
Durchschnitt	3,1	3,2	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 26

Wie beurteilen Sie das Auswechseln der Bürstenköpfe?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	28	13	41
Gut	9	13	22
Befriedigend	2	8	10
Ausreichend	0	6	6
Mangelhaft	1	0	1
Durchschnitt	1,4	2,1	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 27

Wie beurteilen Sie die Zahnbürste vom hygienischen Standpunkt?				
Note \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	7	12	7	26
Gut	19	18	27	64
Befriedigend	10	8	5	23
Ausreichend	4	2	1	7
Mangelhaft	0	0	0	0
Durchschnitt	2,2	2,0	2,0	
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 28

Wie gut lässt sich die Zahnbürste reinigen?				
Note \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	8	14	8	30
Gut	24	16	23	63
Befriedigend	5	8	7	20
Ausreichend	3	2	2	7
Mangelhaft	0	0	0	0
Durchschnitt	2,0	1,9	2,0	
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 29

Wie beurteilen Sie die Aufbewahrung der Zahnbürste vom hygienischen Standpunkt?				
Note \ Bürste	Elmex 29 <sup>®</sup>	Braun 3DExcel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	5	14	12	31
Gut	20	13	22	55
Befriedigend	9	8	4	21
Ausreichend	6	3	1	10
Mangelhaft	0	2	1	3
Durchschnitt	2,4	2,1	1,9	
Gesamtzahl	40	40	40	120

Tabelle 30

Wie beurteilen Sie die Lage des Schalters der Zahnbürste?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel <sup>®</sup>	Cybersonic 2 <sup>®</sup>	Gesamtzahl
Sehr gut	23	5	28
Gut	13	22	35
Befriedigend	3	8	11
Ausreichend	1	2	3
Mangelhaft	0	3	3
Durchschnitt	1,5	2,4	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 31

Wie beurteilen Sie die Gängigkeit des Schalters der Zahnbürste?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel®	Cybersonic 2®	Gesamtzahl
Sehr gut	20	3	23
Gut	16	16	32
Befriedigend	1	15	16
Ausreichend	1	2	3
Mangelhaft	2	4	6
Durchschnitt	1,7	2,7	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 32

Wie beurteilen Sie die Lage des Druckpunktes des Schalters der Zahnbürste?			
Note \ Bürste	Braun 3D Excel®	Cybersonic 2®	Gesamtzahl
Sehr gut	14	3	17
Gut	20	26	46
Befriedigend	4	6	10
Ausreichend	1	4	5
Mangelhaft	1	1	2
Durchschnitt	2,2	2,3	
Gesamtzahl	40	40	80

Tabelle 33

Gesamtbeurteilung der Zahnbürste				
Note \ Bürste	Elmex 29®	Braun 3DExcel®	Cybersonic 2®	Gesamtzahl
Sehr gut	2	10	5	17
Gut	13	28	24	65
Befriedigend	16	1	5	22
Ausreichend	8	1	5	14
Mangelhaft	1	0	1	2
Durchschnitt	2,8	1,8	2,3	
Gesamtzahl	40	40	40	120

## **6 Diskussion**

### **6.1 Diskussion der Methode**

#### **6.1.1 Probanden**

##### **6.1.1.1 Anzahl**

Die Anzahl der Probanden beeinflusst die Aussagekraft einer Studie und ihre Sensitivität für Veränderungen klinischer Parameter. Die erforderliche Mindestgruppengröße für die vorliegende Studie wurde deshalb mit Hilfe einer Power-Statistik definiert. Die daraus abgeleitete Teilnehmerzahl von 40 pro Gruppe hat sich aufgrund der signifikanten Ergebnisse für die vorliegende Untersuchung als ausreichend herausgestellt.

##### **6.1.1.2 Auswahl**

Die Probanden sollten eine dem Bevölkerungsdurchschnitt entsprechende durchschnittliche Motivierung und manuelle Begabung, sowie mittelmäßiges bis schlechtes Mundhygieneniveau repräsentieren. Diese Forderungen wurden durch eine Screening-Untersuchung mit Ein- und Ausschlusskriterien umgesetzt.

##### **6.1.1.3 Alter**

Alle Teilnehmer waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 18 und 65 Jahre alt. Kinder und Jugendliche sowie Senioren wurden durch dieses Kriterium von der Studie ausgeschlossen, da sie Bevölkerungsgruppen darstellen, in denen die Mundhygienefähigkeit stark variieren bzw. eingeschränkt sein kann. Sie repräsentieren somit nicht den Querschnitt der „normalen“ Gesamtbevölkerung, für die die Effektivität der Zahnbürsten in der vorliegenden Studie bewertet werden sollte.

##### **6.1.1.4 Zahnmedizinische Vorbildung**

Viele Studien, die manuelle und elektrische Bürsten verglichen haben, wurden mit Zahnmedizinstudenten oder zahnärztlichem Personal durchgeführt (Van der Weijden et al., 1993a; Van der Weijden et al., 1994b). Studienteilnehmer aus zahnärztlichen Fakultäten verkörpern jedoch eine mit Fachwissen ausgestattete Population, die eine überdurchschnittliche Geübtheit im Umgang mit Mundhygienemitteln besitzt.

Die Compliance ist hier gewöhnlich sehr hoch, Instruktionen werden außerordentlich gut umgesetzt. Da die Effektivität von Zahnbürsten stark mit Putztechnik und Motivation korreliert, kann durch solche Untersuchungen sicherlich die maximale Effektivität eines jeden Produktes definiert werden. Die Studienergebnisse reflektieren jedoch nicht die Effizienz einer Zahnbürste für die Gesamtheit der Bevölkerung (De Rouen, 1995; Stoltze und Bay, 1994). Um den Realitätsbezug der vorliegenden Untersuchung zu gewährleisten, waren die Studienteilnehmer deshalb in keiner Weise zahnmedizinisch vorgebildet.

#### **6.1.1.5 Mundhygieneniveau**

Lediglich solche Individuen wurden in die Studie eingeschlossen, deren durchschnittlicher QHI  $\geq 2$  und PBI  $\geq 0,5$  pro Zahn war. Durch das Screening der Mundhygieneindizes konnte gewährleistet werden, dass nur Probanden an der Studie teilnehmen, die nicht schon mit herkömmlichen Hilfsmitteln eine relative Plaquefreiheit erreichen.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, entsprechen Personen, die kein Potential zur Verbesserung ihrer Mundhygiene aufweisen, nicht dem Bevölkerungsdurchschnitt. Schließlich wurde in einer bundesweiten repräsentativen Untersuchung festgestellt, dass alters- und geschlechtsabhängig zwischen 72,4 und 89,5% der deutschen Bevölkerung ein schlechtes Mundhygieneniveau aufweisen (Micheelis und Reich, 1999). Zum Anderen sind solche Personen nicht geeignet, durch ihre Teilnahme an einer Studie Effektivitätsunterschiede zwischen verschiedenen Zahnbürsten herauszuarbeiten. Heintze et al. zeigten, dass Vorteile elektrischer Bürsten gegenüber manuellen Bürsten durch Probanden mit gutem Mundhygieneniveau neutralisiert werden können (Heintze et al., 1996). Diese Beobachtungen demonstrieren die Problematik von Verbraucherempfehlungen für eine gesamte Population, die auf Ergebnissen einzelner Studien basieren.

#### **6.1.1.6 Allgemeine Anamnese**

Durch die Befragung in der Screeninguntersuchung wurde weitestgehend gewährleistet, dass nur Personen mit gutem allgemeinen Gesundheitszustand an der Untersuchung teilnahmen. Mit diesem Kriterium sollte ausgeschlossen werden, dass die Effektivität der Testzahnbürsten durch Auswirkungen eines eingeschränkten Allgemeinzustandes der

Probanden beeinflusst werden kann. Dass keiner der Probanden unmittelbar vor oder während der Studie Antikoagulantien, Antibiotika oder antiinflammatorisch wirkende Medikamente einnahm, minimierte den Einfluss alternativer Faktoren auf die Blutungsneigung der Gingiva, die der Beurteilung deren Gesundheitszustandes diene.

#### **6.1.1.7 Spezielle Anamnese**

Um standardisierte Ausgangsbedingungen in allen Gruppen zu schaffen, nahmen keine Personen mit weniger als 20 Zähnen an der Untersuchung teil. Eine große Anzahl fehlender Zähne wäre zudem in Bezug auf die Zielsetzung der Studie nicht nützlich gewesen.

Weiterhin wurden verschiedene Personenkreise aufgrund einer speziellen Anamnese von der Studie ausgeschlossen. So nahmen weder Studienteilnehmer mit herausnehmbarem Zahnersatz noch solche mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen oder fortgeschrittenen parodontalen Erkrankungen an den Untersuchungen teil. Es kann nun argumentiert werden, dass Studien ohne solche Probanden nicht den Bevölkerungsquerschnitt repräsentieren. Diese Gruppen benötigen jedoch adäquate Hilfsmittel bzw. Techniken zur Zahnreinigung, die nicht Gegenstand der vorliegenden Effizienzprüfung waren und hätten folglich die Testergebnisse verfälschen können. Weiterhin kann nicht gewährleistet werden, dass Probanden entsprechend dem Grad ihrer eingeschränkten Mundhygiene gleichmäßig mit den „normal“ Mundhygienefähigen auf die Gruppen verteilt werden. Die Effektivitätsprüfung von Zahnbürsten bei einem Personenkreis mit derartigen Merkmalen bzw. Vorerkrankungen muss folglich in einer separaten Studie erfolgen.

#### **6.1.2 Verwendete Zahnbürsten**

Als Ziel der vorliegenden Studie wurde die Untersuchung zweier neu entwickelter elektrischer Zahnbürsten hinsichtlich ihrer Effektivität bei der Plaqueentfernung und der Prävention von Gingivitis formuliert. Die Realisierung dieses Vorhabens wäre in Form einer direkten Gegenüberstellung beider Bürsten nur bedingt möglich gewesen, da diese es nicht erlauben würde, die Bürsten anhand ihrer Effektivität in die Reihe der Konkurrenzprodukte einzuordnen.

Schließlich kann nur bedingt auf die Vielzahl von Untersuchungen, deren Ziel die Effektivitätsprüfung von Zahnbürsten war, zurückgegriffen werden, da deren Ergebnisse in Abhängigkeit vom jeweiligen Studiendesign stark differieren. Deshalb erschien für die vorliegende Studie einzig der Vergleich der Testzahnbürsten mit einer Referenzzahnbürste sinnvoll. Die standardisierte Handzahnbürste mit planem Bürstenfeld erfüllt alle in der Literaturübersicht formulierten Grundanforderungen an eine optimale Handzahnbürste (Monefeld, 1988) und entspricht zudem der von der American Dental Association (ADA) definierten Referenzzahnbürste. Dies ist ein Beitrag dazu, standardisierte Bedingungen für die Effektivitätsprüfung von Zahnbürsten zu schaffen und deren Nutzen damit erheblich zu steigern.

### **6.1.3 Studiendesign**

#### **6.1.3.1 Randomisierung und Stratifizierung**

Als Voraussetzung für die spätere randomisierte Gruppenbildung wurden alle Probanden in Abhängigkeit von ihrem Geschlecht und Mundhygieneniveau stratifiziert. Die Beurteilung der Mundhygiene basierte auf dem PBI, da Gingivitis-Indizes wie der PBI das Mundhygieneniveau reeller als Plaqueindizes wiedergeben. Es kann jedoch in Frage gestellt werden, ob das Prozedere, mit dem die Probanden anhand ihrer Mundhygiene auf die Gruppen verteilt wurden, ideal war. Aufgrund der unterschiedlichen Medianwerte des PBI beider Geschlechter beim Screening lag der Gruppenzuordnung der Frauen ein höherer PBI-Grenzwert (1,08) zugrunde, als der der Männer (0,96). Eine geschlechtsunabhängige Berechnung des PBI-Medianwertes wäre möglich gewesen, hätte aber das Erreichen der gleichen Probandenzahl in jeder Gruppe unmöglich gemacht. Es ist zudem davon auszugehen, dass Auswirkungen der geschlechtsspezifisch unterschiedlichen PBI-Gruppenzuteilung vernachlässigbar sind, da sämtliche Probanden hinsichtlich Geschlecht und Mundhygieneniveau durch ein randomisiertes Verfahren gleichmäßig und zufällig auf die Gruppen verteilt wurden.

#### **6.1.3.2 Untersucherblinde Durchführung**

Da das Kreieren eines doppelt-blinden Studiendesigns bei der Effizienzprüfung verschiedener Zahnbürsten nicht möglich ist, war Ansatz des einfachen Blindversuches, die größtmögliche Objektivität bei der Bewertung der Testbürsten sicherzustellen.



Der Untersucherin war während der Studie zu keiner Zeit bekannt, welche der drei Zahnbürsten dem jeweiligen Probanden zugeordnet wurde. Folglich gelang es, die klinische Untersuchung unvoreingenommen und ohne eine bestimmte Erwartungshaltung durchzuführen.

#### **6.1.3.3 Paralleldesign**

Die vorliegende Zahnbürsteneffizienzprüfung wurde im Parallel-Design angelegt. Es ist zu diskutieren, warum es gegenüber dem alternativen Cross-over-Design vorgezogen wurde. Schließlich hat Letzteres den großen Vorteil, den Einfluss individueller, probandenabhängiger Faktoren auf das Testergebnis minimieren zu können (Saxer und Yankell, 1997a).

Das Studium der einschlägigen Literatur ergab, dass das Paralleldesign von vielen Forschungsgruppen für die Untersuchung elektrischer Zahnbürsten bevorzugt wird (Ainamo et al., 1997; Chilton und Fleiss, 1986; Van der Weijden et al., 1994a; Walsh et al., 1989). Eine Entscheidung, die darauf zurückzuführen ist, dass ein Cross-over-Design das Risiko von Carry-over-Effekten wie Ermüdung, schwankende Motivation, Neuheitseffekte und Trainingseffekte mit sich bringt (Bortz, 1993). Hier kann nicht gewährleistet werden, dass alle Probanden zwischen den einzelnen Testphasen zu ihrem ursprünglichen Mundhygieneniveau zurückkehren (Van der Weijden, 2002) (Danser et al., 2003). Vor allem kann aber die bewusste oder unbewusste Begünstigung einer der getesteten Produkte durch die Probanden in Cross-over-Studien zur Verfälschung der Testergebnisse führen. Das Paralleldesign schaltet diesen Faktor aus, indem jeder Teilnehmer lediglich mit einem einzigen Testprodukt in Berührung kommt.

#### **6.1.3.4 Probandenscreening**

Die Probanden der vorliegenden Studie wurden mit Hilfe einer Screeninguntersuchung rekrutiert und auf die Gruppen verteilt, um das Risiko unterschiedlicher Ausgangssituationen in den Gruppen zu minimieren. Das Screening war unabhängig davon für die klinische Überprüfung der in den Ein- und Ausschlusskriterien vorgeschriebenen Grenzwerte der Plaque- und Gingivitisindizes unverzichtbar.

#### **6.1.3.5 Professionelle Zahnreinigung**

Die Effektivität der drei in der vorliegenden Untersuchung getesteten Zahnbürsten sollte bei möglichst ähnlicher individueller Ausgangssituation untersucht werden. Um das Level von Plaque und Gingivitis unter den Probandengruppen zu harmonisieren, war eine professionelle Zahnreinigung (PZR) im Anschluss an die Überprüfung der Teilnahmevoraussetzungen in der Screening-Untersuchung zwingend notwendig. Auf diese Weise wurde gewährleistet, dass alle Teilnehmer frei von Zahnstein und weichen mikrobiellen Belägen die Studie beginnen.

#### **6.1.3.6 Wash-out-Phase**

Einige Autoren vermuteten in der Vergangenheit, dass der therapeutische Effekt der professionellen Zahnreinigung zu Studienbeginn so bedeutend sein kann, dass er in der Lage ist, den Effekt der zu testenden Zahnbürsten zu maskieren (Ainamo et al., 1997; Stoltze und Bay, 1994). Deshalb erschien in der vorliegenden Studie die Einhaltung einer Wash-out-Phase zwischen professioneller Zahnreinigung und Testphase sinnvoll, in der alle Probanden zu Hause, der Forderung nach standardisierten Ausgangsbedingungen entsprechend, die gleiche Handzahnbürste und Zahnpasta anwendeten. Die Teilnehmer konnten zu ihrem gewohnten Mundhygieneverhalten zurückkehren. Schließlich war es Gegenstand der vorliegenden Studie, die Effektivität von Zahnbürsten an Probanden zu überprüfen, die aufgrund unzureichender Mundhygiene Plaque und Gingivitis aufweisen.

Im Zuge der Erarbeitung des Studiendesigns ergab sich die Frage nach der idealen Wash-out-Dauer. Die Betrachtung des „Versuches zur experimentellen Gingivitis beim Menschen“ machte deutlich, dass bereits eine Woche ein ausreichender Zeitraum ist, um nach vollständiger Belagsentfernung wieder Plaque wachsen zu lassen und erste messbare Veränderungen des gingivalen Gesundheitszustandes hervorzurufen (Löe et al., 1965). Saxer et al. publizierten dagegen, dass eine initiale Prophylaxe die Bildung von Plaque für drei bis vier Wochen und den Entzündungszustand des marginalen Parodontiums für sechs bis acht Wochen beeinflussen kann (Saxer und Yankell, 1997a; Saxer und Yankell, 1997b).

Aus diesen Erkenntnissen wurde für die vorliegende Studie eine vierwöchige Wash-out-Phase abgeleitet. Sie bildet die Voraussetzung für ein der individuellen Mundhygiene entsprechendes und nicht von der initialen PZR und Neuheitseffekten beeinflusstes Ausgangsniveau der Indizes bei der Baseline-Untersuchung und letztendlich die Grundlage dafür, die Daten der Eingangsuntersuchung in Relation zu denjenigen der Abschlussuntersuchung setzen zu können.

#### **6.1.3.7 Baseline-Untersuchung**

Zu Beginn der achtwöchigen Testphase in der vorliegenden Studie erfolgte die Erfassung der Ausgangswerte der Indizes als Baseline-Untersuchung. In Studien anderer Forschungsgruppen wurde dagegen nach der professionellen Zahnreinigung auf eine Baseline-Untersuchung verzichtet, weil davon ausgegangen wurde, dass alle Indizes denen des Screenings entsprechen bzw. nach einer professionellen Zahnreinigung bei null liegen (Kaschke et al., 2004; Zimmer et al., 1999). Eine solche Rechtfertigung ist jedoch insbesondere hinsichtlich des PBI als kritisch einzuschätzen. Letzterer spiegelt als Gingivitis-Index die Qualität der Mundhygiene reeller wieder als Plaque-Indizes, da er sich durch eine einmalige Plaqueentfernung zwar stark beeinflussen aber nicht vollständig modifizieren lässt (Löe et al., 1965). Demzufolge ist nicht davon auszugehen, dass der PBI im Anschluss an eine Zahnreinigung immer bei null liegt.

Da sich eine Woche in vivo als ausreichender Zeitraum herausgestellt hat, um neben der Plaquebildung messbare Veränderungen des gingivalen Gesundheitszustandes hervorzurufen (Löe et al., 1965), erscheint es folglich nach Einhalten einer vierwöchigen Wash-out-Periode undenkbar, auf die Baseline-Untersuchung zu verzichten. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die Richtigkeit dieses Vorgehens.

#### **6.1.3.8 Testbürsten im Hausgebrauch**

Die Bewertung des Mundhygieneniveaus erfolgte jeweils im Abstand von vier Wochen, in denen die Testzahnbürsten zu Hause angewendet wurden. Aus Gründen der Standardisierung wurde in allen Gruppen die gleiche Zahnpasta benutzt. Die lange Dauer der Phasen des Hausgebrauchs ermöglichte das sichere Erfassen mundhygienebedingter Auswirkungen auf den Entzündungszustand der Gingiva.

Das Design, Zahnbürsten im Hausgebrauch zu testen, entspricht der Forderung nach einer realitätstreuen Untersuchung und begünstigt durch den vergleichsweise geringen studientechnischen Aufwand die Durchführung von Langzeitstudien. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass alle Studien, die unkontrolliert zu Hause durchgeführt werden und nicht unter direkter Kontrolle des Untersuchers stehen, also nicht standardisierbar sind, ihren Nachteil in der Frage der Probandencompliance haben. Man kann aber annehmen, dass die Instruktionen in der vorliegenden Studie in allen Gruppen mit dem selben Maß an Zuverlässigkeit beachtet wurden.

Der Sinn des alternativen Designs, nämlich Zahnreinigungen an Probanden durch Fachpersonal durchzuführen (Van der Weijden et al., 1996), muss demgegenüber hinterfragt werden. Es ist zwar geeignet, den Effekt zahlreicher Variablen wie Putzfrequenz und -technik, manuelle Geschicklichkeit, Motivation und Neuheitseffekt zu minimieren, der Bezug zur Realität bleibt jedoch auf der Strecke. Schließlich kann die Applikation des idealen Druckes und das Abwippen der Bürste in Zahnzwischenräume ohne eigenes Empfinden kaum nachvollzogen werden (Saxer und Yankell, 1997).

#### **6.1.3.9 Klinische Untersuchung**

Um für jeden Probanden etwa den gleichen Abstand zwischen der letzten Zahnreinigung und dem Untersuchungszeitpunkt zu gewährleisten, fanden die Untersuchungen jeweils zur gleichen Tageszeit statt. Dies war erforderlich, um die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Daten sicherzustellen.

#### **6.1.3.10 Instruktion**

Gewöhnlich erhalten die Teilnehmer klinischer Studien, die manuelle und elektrische Bürsten vergleichen, sehr genaue Instruktionen zum Gebrauch der Testzahnbürsten, die in einer Optimierung der oralen Hygiene resultieren (Stoltze und Bay, 1994; Van der Weijden et al., 1994a). Einige beinhalten sogar Kontrollmechanismen zur Überprüfung der Probandencompliance (Baab und Johnson, 1989; Heasman et al., 1999; Johnson und Mc Innes, 1994; Khocht et al., 1992; Killoy et al., 1989; Van der Weijden et al., 1994a).

Zahnbürsten sind jedoch ein Produkt, für das normalerweise keine oder nur geringfügige Instruktionen beim Kauf gegeben werden. Nur wenige Produkte enthalten schriftliche Herstellerinstruktionen, die zudem in der Regel nicht geeignet sind, die Effizienz der Bürsten maximal zu verbessern (Glavind et al., 1981; Mc Allan et al., 1975; Mc Kendrick et al., 1968; Shifter et al., 1983; Van der Weijden et al., 1993a; Van der Weijden et al., 1994; Van der Weijden et al., 1993b). Studien, die eine professionelle Instruktion beinhalten, sind deshalb in einer gewissen Weise als überkontrolliert zu bezeichnen. Sie sind geeignet, Vorteile elektrischer Bürsten herauszuarbeiten (Lazarescu et al., 2003; Van der Weijden et al., 1993a; Van der Weijden et al., 1994a), klinisch positive Ergebnisse können jedoch nicht ohne Weiteres auf die Bevölkerung übertragen werden (Pader, 1988). Exzessive Instruktionen mit Modifikation der Mundhygienegewohnheiten, Motivation und Kontrolle der Probanden können den eigentlichen Effekt der Zahnbürsten maskieren und das Ermitteln von Unterschieden zwischen den Gruppen deutlich erschweren. Zudem entsprechen sie nicht der Realität.

Bei der Durchführung einer jeden Studie muss ohnehin in Kauf genommen werden, dass die Compliance der Teilnehmer aufgrund ihres Enthusiasmus, im Rahmen einer Studie neue Produkte verwenden zu dürfen, höher als die der durchschnittlichen Bevölkerung ist. Dieser sogenannte „Hawthorne Effekt“ ist aus vorangegangenen Studien gut bekannt (Robertson et al., 1989; Walmsley, 1997).

Wie zu erwarten, wurden insgesamt in Studien *mit* umfangreichen Instruktionen regelmäßiger große Plaquerreduktionen nachgewiesen (Baab und Johnson, 1989; Killoy et al., 1989; Van der Weijden et al., 1998) als in Studien *ohne* Instruktion (Grossman und Proskin, 1995), von denen tatsächlich nur eine einzige deutliche Reduktionen zeigte (Stoltze und Bay, 1994).

In Untersuchungen *mit* Instruktionen wurden nur in wenigen Ausnahmefällen keine signifikanten Plaquerreduktionen detektiert. Drei davon wurden interessanterweise mit schallaktiven Bürsten durchgeführt (Johnson und Mc Innes, 1994; O’Beirne et al., 1996; Tritten und Armitage, 1996). Folglich liegt die Vermutung nahe, dass die Effizienz der vergleichsweise einfach anzuwendenden Schallzahnbürsten im Gegensatz zu anderen Zahnbürsten durch Instruktionen kaum gesteigert werden kann.

In der vorliegenden Studie konnte nicht vollständig auf Instruktionen verzichtet werden, da aus Gründen der Standardisierung der Belagsentfernung bestimmte Zahnputztechniken vorgeschrieben werden mussten. Unter Berücksichtigung der oben dargelegten Problemstellung wurde jedoch Wert darauf gelegt, die Putzanleitungen auf das Wesentliche zu beschränken.

#### **6.1.3.11 Putztechnik**

Um die maximale Leistungsfähigkeit der Handzahnbürste im Vergleich zu den beiden elektrischen Testzahnbürsten zu erheben, erschien es sinnvoll, eine Putztechnik anzuwenden, die bei Schonung von Gingiva und Zahnhartsubstanz die beste Plaqueentfernung ermöglicht (Bergenholtz et al., 1984; Frandsen et al., 1970; Stoffel, 1986). Die Entscheidung fiel zugunsten der Bass-Technik aus, die in der Bevölkerung weit verbreitet ist. In einer Untersuchung an Affen fand Waerhaug heraus, dass mit der Bass-Methode bei parodontal Gesunden auch die subgingivalen Bereiche plaquefrei gehalten werden können (Waerhaug, 1981). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Gibson und Wade anhand einer Studie mit Zahnmedizinstudenten, in der sich die Bass-Technik im gingivanahen Bereich an lingualen und vestibulären Flächen als überlegen gegenüber der Stillmann-Technik erwies (Gibson und Wade, 1977). Aufgrund dieser Erkenntnisse hat sich die Bass-Technik in der Fachwelt durchgesetzt, obwohl andere Untersuchungen Effektivitätsunterschiede verschiedener Putztechniken relativieren (Stoffel, 1986). Bezüglich der Technik für das elektrische Bürsten liegen keine zu diskutierenden Alternativen vor.

Das Benutzen von Mundspüllösungen und Gelees sowie von Hilfsmitteln zur Zahnzwischenraumreinigung wurde den Probanden während der gesamten Studiendauer untersagt. Dies war die Voraussetzung dafür, die Wirkung der Zahnbürsten unabhängig von anderen Mundhygienehilfsmitteln analysieren zu können. Um die Studie realistisch zu gestalten, war es jedoch erlaubt, impaktierte Speisereste mit einem Zahnholz zu entfernen. Dieses Zugeständnis war nötig, da ansonsten nicht davon ausgegangen werden konnte, dass sich alle Probanden während der gesamten Studiendauer an das Verbot halten.

#### **6.1.3.12 Putzdauer**

Zwischen Reinigungsdauer und Plaquereduktion besteht unabhängig von der Art der Zahnbürste ein starker positiver Zusammenhang (Hawkins et al., 1986; Van der Weijden et al., 1993b; Van der Weijden et al., 1996). Man kann folglich annehmen, dass Zähne bei ausreichender Dauer bzw. fehlender Standardisierung der Putzzeit mit jeder Bürste gleich effektiv gereinigt werden können. Deshalb stellt die Zahnputzdauer in einer Studie zum Vergleich verschiedener Zahnbürsten einen bedeutenden Einflussfaktor dar. Sie muss sorgfältig ausgewählt und ihre Einhaltung idealerweise kontrolliert werden. In zahlreichen Untersuchungen wurde die Putzzeit jedoch gar nicht spezifiziert. Dies trägt nicht nur dazu bei, dass Studienergebnisse nicht vergleichbar sind, sondern stellt möglicherweise auch eine Ursache für deutlich differierende Ergebnisse dar.

Aus dieser Problematik heraus entschieden Van der Weijden et al. in Übereinstimmung mit anderen Forschungsgruppen, die Putzzeit auf zwei Minuten zu standardisieren (Baab und Johnson, 1989; Killoy et al., 1989; Walsh und Glenwright, 1984). Sie ermittelten diese Zeit in einer Untersuchung, der zufolge Putzzeiten von einer Minute für eine akzeptable Plaquereduktion unzureichend sind, eine zwei Minuten dauernde Putzzeit zu einer signifikanten Reduktion der Plaque führt; die Effektivität bis zu einer Putzzeit von sechs Minuten ansteigt, aber das Erhöhen der Putzzeiten auf drei und vier Minuten nicht in einer signifikant gesteigerten Plaquereduktion gegenüber dem zweiminütigen Putzen resultiert (Van der Weijden et al., 1993b; Van der Weijden et al., 1996). In Anlehnung an diese internationalen Empfehlungen wurde in der vorliegenden Untersuchung eine Putzzeit von zweimal täglich zwei Minuten festgelegt.

Wie bereits in der Literaturübersicht dargelegt wurde, variieren zwar die Forderungen zur Zeitdauer, in der eine gründliche Belagsentfernung möglich ist, bis zu einer Obergrenze von 5,1 Minuten (Hawkins et al., 1986), in Anbetracht tatsächlicher Putzzeiten zwischen 33 (Mac Gregor und Rugg-Gunn, 1985) und 83,5 Sekunden (Saxer et al., 1998; Saxer et al., 1983) sind sie jedoch als unrealistisch anzusehen. Schließlich wurde mehrfach nachgewiesen, dass sich Verhaltensänderungen bezüglich der Mundhygienemaßnahmen durch Motivation und Instruktion kaum erreichen lassen (Weinstein et al., 1989; Zimmer et al., 2001).

Angesichts des starken Zusammenhanges, der zwischen Putzdauer und Plaqueentfernung besteht, kann ermessen werden, inwieweit in Studien, in denen Probanden ohne Überwachung zu Hause putzen, Ergebnisse durch nicht eingehaltene Putzzeiten verfälscht sein können. Den Teilnehmern der vorliegenden Studie wurden deshalb digitale Kurzzeitwecker ausgehändigt, um ein der Situation entsprechend maximales Maß an Kontrolle zu ermöglichen. Die Bedeutung dieser Maßnahme wird durch die in der Literaturübersicht dargestellten Studien von Saxer et al. unterstrichen, die zu dem Ergebnis kamen, dass die tatsächliche Zahnputzdauer generell massiv überschätzt wird (Saxer et al., 1998; Saxer et al., 1983).

#### **6.1.3.13 Studiendauer**

Der größte Teil der klinischen Untersuchungen zur Effektivität von Zahnbürsten sind Kurzzeitstudien und auf die Effizienz der Plaqueentfernung ausgerichtet. Sie haben den Vorteil, Reduktionen des Plaqueindexes schnell anzuzeigen. Kurzzeitstudien können die potentielle Kapazität einer Zahnbürste jedoch oft nur andeuten, da sich Veränderungen der gingivalen Blutungsneigung erst mit Verzug nach denen des Plaqueindexes einstellen. Der Nachweis von Verbesserungen des gingivalen Gesundheitszustandes wird somit von der Länge der Studie beeinflusst (Listgarten, 1992; Stoltze und Bay, 1994). Eine Studiendauer von weniger als drei Wochen hat sich als nicht geeignet herausgestellt, um Veränderungen des Entzündungsgeschehens der Gingiva zu reflektieren (Robertson et al., 1989).

Ein weiterer Nachteil von Kurzzeitstudien besteht darin, dass ihre Ergebnisse besonders stark durch den Hawthorne-Effekt beeinflusst werden, bei dem die gesteigerte Motivation aller Gruppen potentielle klinische Unterschiede maskiert oder verfälscht (Robertson et al., 1989). Daraus resultierende initial positive Effekte, die mit der Zeit nachlassen, traten u. a. in einer Untersuchung der Ultraschallbürste Sonex® auf. Eine signifikante Reduktion des Gingiva-Indexes nach vier Wochen (Terzhalmy et al., 1995a) war hier nach sechs Monaten nicht mehr nachweisbar (Terzhalmy et al., 1995b).



Obwohl mit Kurzzeitstudien kurzfristig die Effizienz verschiedener Bürsten ermittelt werden kann, liegt die Vermutung nahe, dass Langzeitstudien deren klinische Relevanz trotz vermehrt auftretender Lerneffekte eher demonstrieren. Studien mit rotierend-oszillierenden und manuellen Zahnbürsten sind beispielhaft für die erläuterte Problematik. Nach 1,5 (Stoltze und Bay, 1994), drei (Barnes et al., 1993), acht (Quirynen et al., 1994; Van der Weijden et al., 1994a) bzw. zwölf Monaten (Ainamo et al., 1997) wurden signifikante Vorteile der Braun Oral-B Plak Control® gegenüber einer Handzahnbürste bezüglich der Steigerung des gingivalen Gesundheitszustandes bzw. aller klinischer Parameter festgestellt (Quirynen et al., 1994; Van der Weijden et al., 1994a). Dieser Nachweis ging mit einer vergleichsweise großen Beanspruchung von Zeit und Ressourcen einher, gelang in Kurzzeitstudien jedoch selten (Baab und Johnson, 1989).

Auch im direkten Vergleich elektrischer Bürsten der zweiten und dritten Generation gelang es nur durch eine Langzeituntersuchung, Vorteile der schallaktiven Bürsten zu demonstrieren. Robinson et al. wiesen nach sechs Monaten als Einzige die Überlegenheit der schallaktiven Sonicare® gegenüber oszillierenden Bürsten nach (Robinson et al., 1997). Sie führen dies darauf zurück, dass das Potential schallaktiver Bürsten wegen des vielfältigen Wirkungsspektrums möglicherweise verzögert zur Geltung kommt (Jones et al., 2000; Mc Innes et al., 1993; Stanford et al., 1997).

Die vorliegende Studie wurde über einen Zeitraum von insgesamt drei Monaten mit einer zweimonatigen Testphase durchgeführt und entspricht damit dem Minimum der aktuellen Empfehlungen von O'Beirne et al. (O'Beirne et al., 1996). Ihre Ergebnisse, die manuelle und elektrische Bürsten in ihrer Effektivität signifikant differenzieren, demonstrieren, dass dieser Zeitraum grundsätzlich ausreichend war. Es gibt keinen Anhalt dafür, dass bei einer verlängerten Studiendauer vermehrt signifikante Unterschiede eingetroffen wären. Eine ausgedehntere Studiendauer hätte die Ergebnisse der gesamten Studie gewissermaßen gefährdet. Zu berücksichtigen gilt schließlich, dass bereits ab einer Untersuchungszeit von drei Wochen eine abfallende Compliance der Probanden beobachtet wurde (Bastiaan, 1984), die besonders hinsichtlich der unerlaubten Verwendung von Interdentalhilfsmitteln und der Einhaltung der Putzzeiten als problematisch einzuschätzen ist.

#### **6.1.3.14 Auswahl der Mundhygieneindizes**

Indizes sind eine numerische Kenngröße zur Bewertung komplexer Sachverhalte. In der Zahnmedizin wurde zum Zweck der Objektivierung der Mundhygiene eine Vielzahl von Indizes definiert. Um wie in der vorliegenden Studie die Effektivität von Testzahnbürsten in Bezug auf die Verbesserung des individuellen Mundhygieneniveaus zu beurteilen, sind grundsätzlich feinere Indizes nötig, als dies für epidemiologische Untersuchungen der Fall ist. Zudem erscheint ihre Kombination sinnvoll, wenn man das Hygieneniveau im gesamten Mund präzise dokumentieren will. Im Folgenden soll detailliert erläutert werden, welche Aspekte zur Auswahl der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Indizes führten.

##### **6.1.3.14.1 QHI**

Die Bewertung der Plaqueakkumulation auf Glattflächen erfolgte in der vorliegenden Studie mit dem Quigley-Hein-Plaqueindex, modifiziert nach Turesky (QHI) (Quigley und Hein, 1962; Turesky et al., 1970). Er wurde von zahlreichen Autoren als verlässlich eingeordnet (Schneider et al., 1987; Tesche, 1995; Wagner, 1993) und hat gezeigt, dass er gut mit dem Gingivitis-Level korreliert (Van der Weijden, 2002). Die Untersucherin war mit seiner Erhebung sehr gut vertraut. Weitere Kriterien, die zur Auswahl des QHI für die vorliegende Studie führten, werden im Folgenden dargestellt.

Der QHI bewertet die Ausbreitung der Plaque auf den gesamten vestibulären und oralen Zahnflächen (Quigley und Hein, 1962). Der Plaque-Index nach Silness (PI) konzentriert sich dagegen nur auf Plaque, die sich im Bereich der marginalen Gingiva befindet (Silness und Loe, 1964). Letzterer stellt zwar ein exzellentes Werkzeug dar, um die Ursache parodontaler Erkrankungen aufzuzeigen, erscheint jedoch aufgrund von Charakteristika, die später erläutert werden, für die vorliegende Untersuchung nicht geeignet. Der Oral-Hygiene-Index (OHI) bewertet neben der Plaque auch Zahnstein (Greene und Vermillion, 1960). Er gilt für Zahnbürsteneffizienzprüfungen als ungeeignet, da Zahnstein durch Bürsten nicht entfernbar ist und die Tendenz zu dessen Bildung individuell stark variiert.

Verschiedene Areale des Gebisses werden mit unterschiedlicher Effektivität gereinigt (Johnson und Mc Innes, 1994; Tritten und Armitage, 1996; Van der Weijden et al., 1993a; Van der Weijden et al., 1996). Folglich war es für die vorliegende Studie nicht akzeptabel, die Indizes nur an bestimmten Zähnen zu erheben, obwohl sich die Ramfjord-Zähne in epidemiologischen Studien bewährt haben (Meyle, 1997; Saxer et al., 1998). Der QHI entspricht ebenso wie der PI dieser Forderung, da er die Plaque auf allen Zähnen bewertet. Der OHI beurteilt dagegen nur sechs Zähne des Gebisses und ist deshalb für die vorliegende Untersuchung wenig geeignet (Greene und Vermillion, 1960).

Während der QHI sechs Grade der Plaqueakkumulation unterscheidet und damit eine feine Abstufung zulässt, differenziert der PI nur zwischen vier Graden. Der Hygiene-Index (HI) nach O'Leary lässt lediglich eine Ja-Nein-Entscheidung zu (O'Leary et al., 1972). Folglich wird Ersterem eine höhere Sensitivität im Vergleich zu Letzteren zugesprochen (Teschke, 1995), was ihn für die vorliegende Studie qualifiziert. PI und HI ermöglichen keine Quantifizierung des Plaquebefalls und erscheinen deshalb nicht sensitiv genug, um die Effizienz von Zahnbürsten zu beurteilen.

Die feine Abstufung des QHI birgt die Gefahr der mangelnden Reproduzierbarkeit während der Untersuchungsperioden. Um diesen Nachteil zu minimieren, wurde die Untersucherin vor Studienbeginn auf reproduzierbare Erhebungen trainiert und geprüft.

Der QHI wird wie auch der HI im Gegensatz zum OHI und PI an angefärbten Zahnbelägen erhoben. Dies erscheint vorteilhaft, da sich die bakterielle Plaque in ihrer Farbe nicht von der der Zähne unterscheidet. Nur durch Anfärben kann sie sichtbar gemacht und ihre Menge objektiv bewertet werden.

Generell kann in Frage gestellt werden, ob der QHI überhaupt geeignet ist, eine Bewertung der Mundhygiene in Bezug auf die Entstehung von Karies und Gingivitis vorzunehmen. Schließlich bewertet er die mikrobielle Besiedlung der Glattflächen, die für die Zahnbürste gut zugänglich sind. Da aber vielmehr Approximal- und Okklusalfächen kariöse Prädilektionsstellen sind, muss die Verbesserung eines solchen Plaqueindexes nicht unbedingt mit einer kariesprophylaktischen Wirkung einhergehen.

Gute Hygiene ist eher im Bereich der Zahnzwischenräume von besonderer Bedeutung für die Prävention von Karies und Parodontitis anzusehen. Deshalb wurde die Reinigung approximaler Bereiche in der vorliegenden Untersuchung separat beurteilt.

#### **6.1.3.14.2 MAPI**

Einige Autoren vertreten die Auffassung, dass Indizes für die Bewertung approximaler Plaque nur eingeschränkt geeignet sind, da die visuelle Zugänglichkeit begrenzt und die Sensitivität nicht ausreichend erscheint (Benson et al., 1993; Kleister und Imfeld, 1993; Marthaler, 1986). Die approximale Plaqueakkumulation sollte in der vorliegenden Studie jedoch aus zuvor erläuterten Gründen gezielt eingeschätzt werden. Unter Abwägung verschiedener Kriterien wurde der Approximale Plaque-Index nach Lange (Lange et al., 1977), modifiziert nach Silness und Loe (MAPI) (Silness und Loe, 1964), erhoben. Er gilt als hinreichend verlässlich (Schneider et al., 1987). Zudem wirkte sich bei der Entscheidung positiv aus, dass die Untersucherin im Umgang mit dem Index routiniert war.

Der MAPI gewährleistet ebenso wie der QHI eine sichere und genaue Einschätzung des Mundhygieneniveaus durch das Einbeziehen aller Zähne in die Bewertung. Auch er wird nach Anfärben der Zahnbeläge mit einem Plaquerelevator erhoben. Diese Technik erscheint aus zuvor für den QHI beschriebenen Gründen vorteilhaft.

Die in der vorliegenden Arbeit gewählte Modifikation des API erlaubt durch eine Klassifikation in vier Grade eine differenzierte Einschätzung der Plaqueakkumulation gegenüber dem klassischen API nach Lange, der sich auf eine Ja-Nein-Entscheidung beschränkt. Letzterer hat sich als nicht sensitiv genug herausgestellt, um Plaquereduktionen im Approximalraum nachzuweisen. So registrierten Zimmer et al. in einer Studie zur Ultra sonex® deutliche Verbesserungen des PBI, während der herkömmliche API unverändert blieb (Zimmer et al., 2002). Dies ist unlogisch, wenn man bedenkt, dass beide Indizes das gleiche anatomische Gebiet bewerten und die enge Korrelation zwischen Plaque und Gingivitis eindeutig nachgewiesen wurde. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung befürworten die Entscheidung für die Anwendung der Modifikation, indem sie eine gute Übereinstimmung zwischen MAPI und PBI zeigen.

#### **6.1.3.14.3 PBI**

Ein Plaqueindex stellt immer eine Momentaufnahme der Mundhygiene dar, die durch einmaliges Zähneputzen stark beeinflussbar ist. Dies birgt die Gefahr, dass ein Proband unmittelbar vor der Untersuchung außergewöhnlich gut die Zähne putzt und so eine Verfälschung der Ergebnisse verursacht. Um einen derartigen Effekt zu verhindern und außerdem die Wirkung der drei Bürsten auf den gingivalen Entzündungszustand separat bewerten zu können, wurde in der vorliegenden Untersuchung zusätzlich ein Gingivitis-Index erhoben. Er spiegelt grundsätzlich die Qualität der Mundhygiene reeller wider als ein Plaqueindex. Schließlich wiesen Loe et al. in ihrer In-vivo-Studie nach, dass sich eine Gingivitis erst verzögert nach Plaquewachstum bildet und umgekehrt erst nach Tagen der Plaquefreiheit wieder zurückgeht (Loe et al., 1965).

Diese Tatsache darf jedoch nicht zu dem Trugschluss führen, dass ein Gingivitis-Index allein für die Einschätzung eines Mundhygieneniveaus ausreichend ist. Er zeichnet nur die Hygienesituation im Bereich der marginalen Gingiva auf und sollte deshalb immer in Kombination mit einem Plaqueindex angewendet werden.

Die gingivale Blutung auf Sondierung, die durch Kapillarschwäche und erhöhte Permeabilität infolge entzündlicher Strukturveränderungen hervorgerufen wird, gilt als sehr sensibler Indikator für Gingivitis (Mühlemann et al. 1971, Saxton et al. 1989), weil sie früher als visuelle Zeichen der Entzündung auftritt (Van der Weijden et al. 1994). Ihre Intensität lässt Rückschlüsse auf die Schwere der entzündlichen Veränderung des marginalen Parodonts zu (Meyle, 1997). Es muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass eine Plaquereduktion nicht unbedingt mit einem reduzierten Blutungsindex einhergeht. Mc Nabb et al. führen ein solches Phänomen auf eine gut entwickelte subgingivale Plaque zurück, auf die die häusliche Plaquekontrolle zwar einen positiven, aber nur limitierten Effekt hat (Mc Nabb et al., 1992). In der vorliegenden Studie wurde dieser Problematik durch die professionelle Zahnreinigung zu Studienbeginn Rechnung getragen.

Zur Anwendung kam der Papillenblutungsindex nach Saxer und Mühlemann (PBI) (Saxer und Mühlemann, 1975), dem eine große Verlässlichkeit bei der Bewertung des gingivalen Gesundheitszustandes bescheinigt wird (Rateitschak et al., 1989; Schmidt et al., 1981). Die Untersucherin war mit seiner Erhebung sehr gut vertraut. Der PBI trägt

ebenso wie der MAPI zur Wiedergabe der approximalen Hygienesituation bei, die vom QHI nur unzureichend berücksichtigt wird, aber wie oben erläutert von besonderer Bedeutung ist.

Im Gegensatz zum Gingiva-Blutungsindex (GI) (Ainamo und Bay, 1975), der nur eine Ja-Nein-Entscheidung erfordert, differenziert der PBI den Entzündungszustand in fünf Grade. Dass diese Quantifizierung von Vorteil ist und ihre Nachteile durch Kalibrierung ausgeglichen wurden, ist bereits bezüglich der Plaqueindizes erläutert worden.

#### **6.1.4 Reliabilität**

Die Aussagekraft der vorliegenden Studie basiert auf den statistisch ausgewerteten Ergebnissen unterschiedlicher Mundhygieneindizes. Beim Erheben der Indizes wurden deshalb eine hohe Genauigkeit und Sicherheit angestrebt und durch eine Kalibrierung vor Beginn der Studie realisiert.

Da die gesamte Datenaufnahme nur von einer Untersucherin durchgeführt wurde, die zudem mit allen drei Indizes aus unmittelbar vorangegangenen klinischen Studien sehr gut vertraut war, war die Kalibrierung auf eine absolute Referenz (inter-examiner-agreement) nicht erforderlich. Es war vielmehr entscheidend, dass die Probanden immer mit dem gleichen Maßstab beurteilt wurden. Die Kalibrierung der Untersucherin bezüglich der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen beim wiederholten Erheben von Indizes (intra-examiner-agreement) erfolgte an acht Probanden, die nicht zur Studienpopulation gehörten, und wird als geeignete Reliabilitätsprüfung angesehen. Aufgrund der Vielzahl der erhobenen Werte ( $8 \times 3 \times 56 = 1344$ ) kann eine Erinnerung während der Messwiederholung nahezu ausgeschlossen werden.

Die ermittelten Kappa-Koeffizienten belegen die Reproduzierbarkeit der Messungen. Für beide Plaqueindizes können sie als hoch eingestuft werden. Ihnen zufolge stimmen die von der Untersucherin zweimal nacheinander aufgenommenen Werte zu 86% (QHI) bzw. 87% (MAPI) überein. Eine mögliche Erklärung für das gute Kalibrierungsergebnis kann die Vertrautheit der Untersucherin mit dem Erheben der Indizes sein.

Die Reliabilität des PBI lag mit 69% erwartungsgemäß unter denen der Plaqueindizes, ist jedoch als ausreichend einzuschätzen. Schließlich gilt es zu berücksichtigen, dass das wiederholte Stimulieren von Papillen mit einer Parodontalsonde innerhalb kurzer Zeitabstände zunehmende Blutungen hervorrufen kann, die nicht unbedingt dem Entzündungsgrad der Gingiva entsprechen.

### **6.1.5 Fragebogen**

Durch den Fragebogen brachten die Probanden am Studienende ihr subjektives Empfinden beim Benutzen der drei Zahnbürsten zum Ausdruck. Angaben zur Handhabung der Testzahnbürsten waren Voraussetzung dafür, Rückschlüsse auf Ursachen der klinischen Untersuchungsergebnisse ziehen zu können, sowie subjektive und objektive Einschätzungen der Testzahnbürsten gegenüberzustellen.

### **6.1.6 Statistik**

Alle Teilnehmer konnten in die Auswertung der Ergebnisse einbezogen werden. Zwischen den Gruppen gab es bezüglich Alter und Geschlecht der Probanden keine statistisch signifikanten Unterschiede (ANOVA, Bonferroni Posthoc-Test).

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden für alle erhobenen Mundhygieneindizes zunächst die Einzelbefunde pro Zahn für jeden Patienten summiert. Dies geschah abweichend von der Definition der Indizes, in der prozentuale Werte angegeben werden.

Der Kolmogoroff-Smirnov-Test, der zwei unabhängige Stichproben unbekannter Varianz und Verteilung prüft, hat keine symmetrische Normalverteilung der Mittelwerte der Indizes nachgewiesen. Zur Berechnung der Unterschiede zwischen Baseline-, Zwischen- und Abschlussuntersuchung wurde deshalb der Medianwert herangezogen.

Um die fehlende Normalverteilung der Merkmalsausprägung zu berücksichtigen, sind für die anschließende statistische Analyse mit SPSS nonparametrische (verteilungsunabhängige) Tests herangezogen worden.

Der Vergleich der Indizes zweier Probandengruppen erfolgte mit dem Mann-Whitney U-Test, der als robustester Test für zwei unabhängige Messreihen gilt. Der Vergleich der Indizes aller Probandengruppen erfolgte dementsprechend mit dem Kruskal-Wallis-Test für mehr als zwei unabhängige Messreihen.

Für den paarweisen Vergleich der Testzahnbürsten im Gesamtverlauf wurde der dafür vorgesehene Wilcoxon-Test herangezogen, der zwei verbundene Stichproben vergleicht. Der Vergleich aller drei Zahnbürsten erfolgte mit dem Friedmann-Test für mehr als zwei verbundene Messreihen.

Da PBI (Elmex: 1,22; Braun: 1,37; Cybersonic: 1,44) und QHI (Elmex: 2,24; Braun: 2,33; Cybersonic: 2,38) statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei der Baseline-Untersuchung aufwiesen, wurden für den abschließenden Effektivitätsvergleich der drei Bürsten generell nicht die Absolutwerte sondern die Veränderungen der Indizes im Untersuchungszeitraum herangezogen.



## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

Mit allen drei untersuchten Zahnbürsten waren die Probanden der vorliegenden Studie in der Lage, Plaque und Gingivitis im Rahmen der täglichen Mundhygiene zu reduzieren. Dass sich die Parameter auch in der Kontrollgruppe verbesserten, ist zu diskutieren. Schließlich verwendeten diese Probanden nicht nur in der Testphase, sondern wie alle Gruppen bereits während der Wash-out-Phase und vor Studienbeginn Handzahnbürsten. Eine spontane Verbesserung ihrer Effektivität erscheint folglich unlogisch und deutet auf Fremdeinflüsse auf die Studienpopulation hin.

In erster Linie ist hier der Hawthorne-Effekt zu nennen, der auch in vergleichbaren Studien beobachtet wurde (Frandsen, 1986; Glavind et al., 1981; Van der Weijden et al., 1993a; Van der Weijden et al., 1993b; Walmsley, 1997). Die vierwöchige stabilisierende Wash-out-Phase in der vorliegenden Studie konnte ihn scheinbar nicht vollständig ausschalten. Neben dem Hawthorne-Effekt können die Probandeninstruktionen während der Baseline-Untersuchung, die aus zuvor erläuterten Gründen unverzichtbar waren, zur Verbesserung des Mundhygieneniveaus aller Gruppen beigetragen haben.

Trotz des Auftretens von Fremdeinflüssen in der vorliegenden Untersuchung ist jedoch davon auszugehen, dass die erörterten Faktoren das Mundhygieneniveau aller Gruppen dank eingängiger Stratifizierung und Randomisierung in gleichem Maße beeinflusst haben. Folglich erscheint dieses Phänomen für den Effektivitätsvergleich von untergeordneter Bedeutung.

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Messwerte ermöglichen eine Differenzierung der Effektivität der drei untersuchten Zahnbürsten. Die Veränderungen der Hygieneindizes zwischen Baseline- und Abschlussuntersuchung bestätigen die Hypothese, dass die beiden elektrischen Bürsten effektiver Plaque und Gingivitis reduzieren als die konventionelle Handzahnbürste, deutlicher als erwartet.

Die Cybersonic 2<sup>®</sup> war der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> dabei hinsichtlich der approximalen Plaquereduktion und Gingivitisreduktion unterlegen. Ein Ergebnis, welches prinzipiell durch andere Forschungsgruppen unterstützt wird (Dörfer et al., 2001; Sharma et al., 1998; Van der Weijden et al., 1996), aber im Widerspruch zur Arbeitshypothese steht. Sie besagt, dass schallaktive Bürsten den rotierend-oszillierenden Bürsten aufgrund ihrer vielfältigen Wirkungsmechanismen, überlegen sind.

### 6.2.1 Effektivität der Plaqueentfernung

Die Plaque-Indizes wurden in der vorliegenden Studie bis auf einen Medianwert von 1,92 (Braun Oral-B 3D Excel®), 1,99 (Cybersonic 2®) bzw. 2,16 (Elmex 29®) auf Glattflächen und 1,84 (Braun Oral-B 3D Excel®), 1,99 (Cybersonic 2®) bzw. 2,13 (Elmex 29®) in Approximalräumen reduziert.

Die Unvollständigkeit der Plaquereduktion ist zum einen dadurch zu begründen, dass die Probanden nicht unmittelbar vor dem jeweiligen Untersuchungstermin, sondern wenige Stunden zuvor zu Hause die zweiminütige Zahnreinigung vornahmen. Aus der Literatur ist bekannt, dass die gereinigte Zahnoberfläche in dieser Zeit bereits längst wieder durch Plaque-bildende Bakterien besiedelt wird. Unabhängig davon gelang es bisher nicht, Verfahren bzw. Hilfsmittel zu kreieren, die eine vollständige Entfernung der bakteriellen Plaque möglich machen. Die Entwicklung neuer Zahnbürsten zur Optimierung der Mundhygiene stellt deshalb weiterhin eine wissenschaftliche Herausforderung dar.

Eine effektive Plaquekontrolle ist für die Prävention von Gingivitis und Parodontitis von immenser Bedeutung, während ihre aktuelle klinische Relevanz in Bezug auf die Prävention von Karies möglicherweise überschätzt wird. Die moderne Kariesprophylaxe ist eine multifaktorielle Präventionsstrategie, in der die Plaquereduktion nicht mehr den einzigen Einflussfaktor darstellt. Schließlich ist bekannt, dass in der Fluorid-Ära auch eine unvollständige Plaqueentfernung zu einer Karieshemmung führt (Mathiesen et al., 1996). Die Effektivität des Zähneputzens wird heute gleichermaßen durch Zahnbürste und Zahncreme erreicht. Die Rolle der Zahncreme besteht nicht allein darin, die mechanische Zahnreinigung zu unterstützen, sondern vielmehr darin, Anti-Karies- und Anti-Plaque-Wirkstoffe bereitzustellen (Holt und Murray, 1997).

Die Glattflächenplaque wurde in der vorliegenden Studie durch die elektrischen Bürsten sowohl nach vier (Braun: 0,22; Cybersonic: 0,23) als auch nach acht Wochen (Braun: 0,35; Cybersonic: 0,41) signifikant stärker als durch die Handzahnbürste (0,07/0,08) reduziert ( $p < 0,001$ ). Selbst an ausgezeichnet zugänglichen Bereichen des Gebisses bilden die elektrischen Bürsten folglich eine effektive Alternative zur Handzahnbürste. Die Reinigung der Glattflächen stellt in der vorliegenden Studie das einzige Kriterium

dar, bezüglich dessen beide elektrischen Bürsten eine gleichwertige Effizienz bewiesen haben.

Während Glattflächen sehr gut gereinigt werden können, bleiben schwer zugängliche Bereiche meist unberührt (Bellini et al., 1981; Rugg-Gunn und Mac Gregor, 1978). Eine Studie zur approximalen Plaqueentfernung registrierte im besten Falle eine 46,8%ige Plaquebesiedelung der approximalen Oberflächen nach dem Zähneputzen (Rapley und Killoy, 1994). Folglich ist es nicht verwunderlich, dass Gingivitis am regelmäßigsten und ausgeprägtesten in den approximalen Bereichen auftritt (Lindhe und Koch, 1967; Loe et al., 1965; Lövdal et al., 1958).

Van der Weijden et al. schlussfolgerten, dass der Wunsch nach erhöhter Zahnbürsteneffektivität von einer verbesserten interdentalen Reinigung herrühren muss (Van der Weijden et al., 1993b). Man kann jedoch argumentieren, dass die Zahnbürste, unabhängig davon ob manuell oder elektrisch, womöglich gar kein geeignetes Instrument für die interdental Plaqueentfernung darstellt. Zur Reinigung der Approximalräume erscheint die Verwendung spezieller Hilfsmittel zur Interdentalhygiene unerlässlich. Untersuchungen zeigen, dass das zusätzliche Benutzen von Zahnseide 38% mehr Plaque entfernt (Sjögren et al., 2004), bzw. das proximale Bluten der Gingiva 50% effizienter reduziert als das alleinige Verwenden einer Handzahnbürste (Graves et al., 1989). Interdentalraumreinigungsmittel haben sich jedoch trotz ihres nachgewiesenen Nutzens in der Bevölkerung bisher nicht durchgesetzt (Wilson, 1998). Gründe hierfür sind in dem relativ großen Anspruch an Zeit und manueller Geschicklichkeit zu sehen, die deren Anwendung mit sich bringt. Neue elektrische Zahnbürsten sollten deshalb innovativ genug sein, um die Zahnreinigung besonders im Problembereich Approximalraum zu verbessern.

Dass Braun Oral-B 3D Excel® und Cybersonic 2® diese Forderung erfüllen, wird durch die vorliegende Untersuchung deutlich. Das Ergebnis der approximalen Plaquereduktion bestätigt eine signifikant effektivere Wirkung beider elektrischer Zahnbürsten im Vergleich zur Handzahnbürste nach vier (Elmex: 0,04; Braun: 0,20; Cybersonic: 0,21) und acht Wochen (Elmex: 0,03; Braun: 0,36; Cybersonic: 0,28) ( $p < 0,001$ ).

Der paarweise Vergleich beider elektrischer Zahnbürsten hinsichtlich der Verbesserung des MAPI resultierte in einer signifikanten Überlegenheit der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> gegenüber der Cybersonic 2<sup>®</sup> nach acht Wochen ( $p < 0,05$ ). Ergebnisse anderer Forschungsgruppen zur approximalen Plaquereduktion weichen davon deutlich ab. Hope et al. demonstrierten in vitro, dass die Sonicare<sup>®</sup> viermal mehr approximale Plaque entfernen kann als die Braun Oral-B D15<sup>®</sup> (Hope und Wilson, 2002). Sjögren et al. beschrieben, dass eine rotierend-oszillierende Bürste nur 3%, die schallaktive Sonicare<sup>®</sup> dagegen 64% mehr approximale Plaque in vivo entfernt als eine Handzahnbürste (Sjögren et al., 2004). Die geringe Effizienz der Cybersonic 2<sup>®</sup> in der vorliegenden Studie war folglich überraschend und wird zu einem späteren Zeitpunkt diskutiert.

Weitere interessante Ergebnisse der Arbeitsgruppe um Sjögren betreffen Unterschiede in der Fluoridanreicherung approximaler Plaque, die auf das Bürstendesign zurückzuführen sind. Die schallaktive Sonicare<sup>®</sup> verursacht demnach durch ihre fluiddynamische Aktivität eine signifikant höhere Fluoridkonzentration in der approximalen Plaque als rotierend-oszillierende und manuelle Bürsten (Sjögren et al., 2004). Berücksichtigt man die große Bedeutung lokaler Fluoride in der modernen Präventionsstrategie, ist deren Anreicherung in der Plaque grundsätzlich als positiv zu bewerten, die klinische Relevanz ist jedoch nicht bekannt.

Das Ausmaß der Differenzen in der Gesamtplaquereduktion zwischen beiden Testgruppen und der Kontrollgruppe in der vorliegenden Studie übertrifft den Großteil vorangegangener Untersuchungen deutlich. Nur Stoltze und Bay ermittelten ähnlich große Unterschiede (Stoltze und Bay, 1994). Andere Autoren stellten wesentlich geringere (Baab und Johnson, 1989; Cronin et al., 1998; Dentino et al., 2002; Glavind und Zeuner, 1986; Killoy et al., 1989; Lazarescu et al., 2003; Preber et al., 1991; Warren et al., 2001; Williams et al., 2004), gar keine (Ainamo et al., 1997; Barnes et al., 1993; Zimmer et al., 1999; Zimmer et al., 1999) bzw. nur auf die approximale Plaquereduktion (Heasman et al., 1999) beschränkte Differenzen zwischen elektrischen und manuellen Bürsten fest.

Es existieren nur zwei Studien, die genau das in der vorliegenden Studie verwendete Modell Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> mit einer manuellen Bürste verglichen. Aus der neunwöchigen Cross-over-Studie von Sharma et al. können in Bezug auf die vorliegende Studie keine Schlussfolgerungen gezogen werden, da in den Gruppen unterschiedliche Zahncremes zur Anwendung kamen, deren Einfluss auf die erhobenen Mundhygieneindizes nicht auszuschließen ist (Sharma et al., 2002). Eine Studie von Warren et al. offeriert dagegen Ergebnisse über die Effektivität der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup>, die mit denen der vorliegenden Studie übereinstimmen. Nach drei Monaten war die Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> der Handzahnbürste in Bezug auf die Reduktion von Plaque signifikant überlegen (Warren et al., 2001).

Im Gegensatz zu Studien ihrer Vorgängermodelle liefern Untersuchungen der neuentwickelten Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> also durchweg positive Ergebnisse bezüglich deren Effizienz gegenüber Handzahnbürsten. Dabei muss natürlich berücksichtigt werden, dass die Anzahl der Studien der neuen Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> deutlich geringer ist, als die ihrer Vorgängermodelle. Differenzen können aber darauf zurückzuführen sein, dass die Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> im Gegensatz zu ihren Vorläufern rotierend-oszillierende mit hochfrequent pulsierenden Bewegungen kombiniert.

Schallaktive Zahnbürsten erwiesen sich bereits in früheren Untersuchungen den Handzahnbürsten hinsichtlich der Plaquereduktion konsequent überlegen (Forgas-Brockmann et al., 1998; Johnson und Mc Innes, 1994; O'Beirne et al., 1996; Tritten und Armitage, 1996; Zimmer et al., 2000; Zimmer et al., 2002). In der vorliegenden Studie übertrifft jedoch die schallaktive Cybersonic 2<sup>®</sup> diese Ergebnisse bezüglich der Plaquereduktion (Johnson und Mc Innes, 1994), (Zimmer et al., 2000).

In Bezug auf den direkten Vergleich beider elektrischer Bürsten weist der Großteil vorangegangener In-vivo-Untersuchungen nach, dass rotierend-oszillierende Bürsten in vivo effektiver Plaque entfernen können als schallaktive Bürsten (Dörfer et al., 2001; Sharma et al., 1998; Van der Weijden et al., 1996).

Die vorliegende Studie bestätigt die signifikante Überlegenheit der Braun Oral-B 3D Excel® gegenüber der Cybersonic 2® nur hinsichtlich der Reduktion approximaler Plaque, die sich für die Zahnbürsteneffektivität als besonders bedeutend herausgestellt hat, nach acht Wochen (Van der Weijden et al., 1993b). Die Glattflächenplaque betreffend stimmt sie jedoch mit einer Untersuchung überein, in der keine Effektivitätsunterschiede zwischen oszillierend-rotierenden und schallaktiven Bürsten nachgewiesen werden konnten (Grossman und Proskin, 1995).

Basierend auf diesen Erkenntnissen ist die klinische Relevanz vielversprechender Ergebnisse von In-vitro-Untersuchungen schallaktiver Bürsten in Frage zu stellen (Mc Innes et al., 1992; Stanford et al., 1997; Wu-Yuan et al., 1994; Yankell et al., 1997). Es wird spekuliert, dass die tatsächliche Ausprägung der Strömungen im Mundmilieu stark abgeschwächt gegenüber der ist, die in der Literatur anhand von In-vitro-Modellen beschrieben wurde (Khambay und Walmsley, 1995). Schließlich operiert die Zahnbürste in einem sehr speziellen Medium, das keine Flüssigkeit, sondern einen vergleichsweise viskösen Schaum aus Zahnpasta und Speichel darstellt. Andere Vorteile der Schalltechnologie, wie die Beeinflussung pathogener Mikroorganismen, wurden teilweise in abgeschwächter Form auch für rotierend-oszillierende Bürsten nachgewiesen (Blanco et al., 1997; Haffajee et al., 2001).

Der einzige klinische Vergleich, aus dem die Sonicare® als überlegen gegenüber der Braun Oral-B Plak Control® hervorging, erfolgte an Parodontitispatienten. Im sechsten Untersuchungsmonat fanden Robinson et al. hier signifikante Unterschiede bezüglich der interdentalen Plaquereduktion zu Gunsten der schallaktiven Bürste. Für den Plaque-Index insgesamt wurden jedoch in Übereinstimmung mit der vorliegenden Studie keine Differenzen festgestellt (Robinson et al., 1997). Elektrische Bürsten der zweiten und dritten Generation scheinen sich folglich trotz ihrer unterschiedlichen Wirkungsmechanismen in ihrer Effizienz weniger zu unterscheiden, als es In-vitro-Untersuchungen vermuten lassen. Klinische Vorteile schallaktiver Bürsten gegenüber früheren Generationen konnten lediglich für Bevölkerungsgruppen mit erschwerter Mundhygienefähigkeit nachgewiesen werden (O'Beirne et al., 1996), (Ho und Niederman, 1997) (Grossman und Proskin, 1997), (Robinson et al., 1997), (Day und Martin, 1998).

### 6.2.2 Effektivität der Gingivitisreduktion

Die Gingivitis-Indizes wurden in der vorliegenden Studie bis auf einen Medianwert von 0,71 (Braun Oral-B 3D Excel®), 1,01 (Cybersonic 2®) bzw. 1,21 (Elmex 29®) reduziert. Diese Ergebnisse werfen interessante Fragen bezüglich der Rolle des Zähneputzens bei der Reduktion gingivaler Entzündungen auf.

Es ist unangemessen anzunehmen, dass eine Zahnbürste allein geeignet ist, die Entzündung, die zu Beginn der Studie vorlag, zu eliminieren. Die Notwendigkeit des Zusammenspiels häuslicher Mundhygiene und professioneller Hilfe ist offensichtlich, da die Rolle des Patienten in der Gingivitiskontrolle als präventiv, aber nicht therapeutisch eingeschätzt werden kann (Forgas-Brockmann et al., 1998). Eine der Bedingungen für das Beseitigen einer Gingivitis, die professionelle Entfernung subgingivaler Irritationen, ist deshalb durch die professionelle Zahnreinigung während der Eingangsuntersuchung erfolgt. Durch das Probandenscreening konnte zudem weitestgehend ausgeschlossen werden, dass Personen an der Studie teilnehmen, die aufgrund fortgeschrittener parodontaler Erkrankungen eine räumlich ausgedehntere Zahnreinigung benötigt hätten. Eine weitere Voraussetzung für die Eliminierung einer Gingivitis ist die regelmäßige häusliche Reinigung der Interdentalräume mit speziellen Hilfsmitteln. Da diese während der Studie untersagt war, ist hier die Ursache dafür zu sehen, dass die Gingivitis nur unvollständig therapiert werden konnte.

Hinsichtlich der Reduktion des PBI erwiesen sich die elektrischen Zahnbürsten nach vier (Braun: 0,39; Cybersonic: 0,25) und acht Wochen (Braun: 0,61; Cybersonic: 0,36) als signifikant effektiver als die Handzahnbürste (0,02/0,10) ( $p < 0,001$ ). Dieses Ergebnis überrascht nicht, da die elektrischen Bürsten auch bezüglich der beiden Plaque-Indizes deutlich überlegen waren. Schließlich ist hinreichend belegt, dass eine Plaqueakkumulation Gingivitis verursacht und eine durch eine wirkungsvolle Zahnbürste verbesserte Mundhygiene folglich einen Effekt auf Plaque *und* Gingivitis hat (Löe et al., 1965).

Es ist jedoch zu diskutieren, warum beim direkten Vergleich beider elektrischer Bürsten Differenzen zwischen den Ergebnissen der Plaque- und Gingivitisreduktion bestanden. In der vorliegenden Studie war der PBI der einzige Index, der sowohl nach vier, als auch nach acht Wochen einen signifikanten Effektivitätsunterschied zwischen beiden elektrischen Bürsten nachweisen konnte. Während durch den MAPI lediglich nach acht

Wochen signifikante Unterschiede zugunsten der Braun Oral-B 3D Excel® detektiert wurden, gelang diese Differenzierung durch den QHI gar nicht. Ursachen für dieses Missverhältnis können zum einen im unterschiedlichen Potential des durch den jeweiligen Index bewerteten anatomischen Gebietes gesehen werden, Verbesserungen der Putzeffektivität widerzuspiegeln. Während Glatflächen unabhängig vom Zahnbürstentyp effektiv gereinigt werden können (Lindhe und Koch, 1967), ist die Fähigkeit der Zahnbürste, interdentale Oberflächen zu reinigen, begrenzt (Bergenholtz et al., 1984; Lövdal et al., 1958; Van der Weijden et al., 1993b) und lässt folglich eine Differenzierung der Bürsteneffektivität zu. Zum anderen geben die Indizes je nach Sensitivität und Spezifität Effektivitätsdifferenzen unterschiedlich wieder.

Rotierend-oszillierende Bürsten haben ihre Fähigkeit, Gingivitis besser als Handzahnbürsten zu reduzieren, nicht nur in der vorliegenden Untersuchung, sondern auch in zahlreichen vorangegangenen Studien bestätigt (Ainamo et al., 1997; Baab und Johnson, 1989; Glavind und Zeuner, 1986; Killoy et al., 1989; Lazarescu et al., 2003; Preber et al., 1991; Stoltze und Bay, 1994; Van der Weijden et al., 1998; Van der Weijden et al., 1994a; Williams et al., 2004). In einer praxisbezogenen Studie mit 16.903 Patienten wiesen Warren et al. bei 80,5% der Teilnehmer deutliche Verbesserungen des gingivalen Gesundheitszustandes durch den Braun Oral-B Plaque Remover® nach (Warren et al., 2000). In einer weiteren Untersuchung von Warren et al. zeigte sich das in der vorliegenden Untersuchung geprüfte Modell Braun Oral-B 3D Excel® einer Handzahnbürste in Bezug auf die Reduktion von Gingivitisindizes signifikant überlegen (Warren et al., 2001).

Die Ergebnisse schallaktiver und Ultraschallbürsten bei der Reduktion von Gingivitis sind dagegen unklarer. Die Literatur macht deutlich, dass sie ihre Effizienz bezüglich der Reduktion von Gingivitis nicht durchgängig beweisen konnten. Aus äußerst wenigen Studien gingen schallaktive Zahnbürsten gegenüber manuellen bei der Reduktion von Plaque und Gingivitis wie in der vorliegenden Studie als überlegen hervor (White, 1996; Zimmer et al., 2000). Verschiedene Forschungsgruppen fanden zwar Vorteile der Sonicare® gegenüber der Handzahnbürste im Entfernen von Plaque, allerdings keinen signifikanten Unterschied bezüglich der gingivalen Gesundheit (Forgas-Brockmann et



al., 1998; Johnson und Mc Innes, 1994; O'Beirne et al., 1996). Tritten et al. stellten sogar Differenzen zugunsten einer manuellen Bürste fest (Tritten und Armitage, 1996). Vergleiche zu elektrischen Bürsten früherer Generationen kommen zu ähnlichen Ergebnissen. In einer sechswöchigen klinischen Untersuchung von Isaacs et al. war die Sonicare® der Braun Oral-B Plak Control® beim Bekämpfen von Gingivitis und Zahnstein unterlegen (Isaacs et al., 1998). Nur während der bereits vorgestellten Langzeituntersuchung bei Patienten mit moderater Erwachsenenparodontitis gelang es der Sonicare®, die rotierend-oszillierende Bürste bezüglich der Reduktion gingivaler Blutungen und Sondierungstiefen signifikant zu übertreffen (Robinson et al., 1997). Die fehlende Effizienz schallaktiver Bürsten im Hinblick auf die Gingivitiskontrolle in der vorliegenden Studie stimmt folglich mit den Ergebnissen anderer Forschungsgruppen überein.

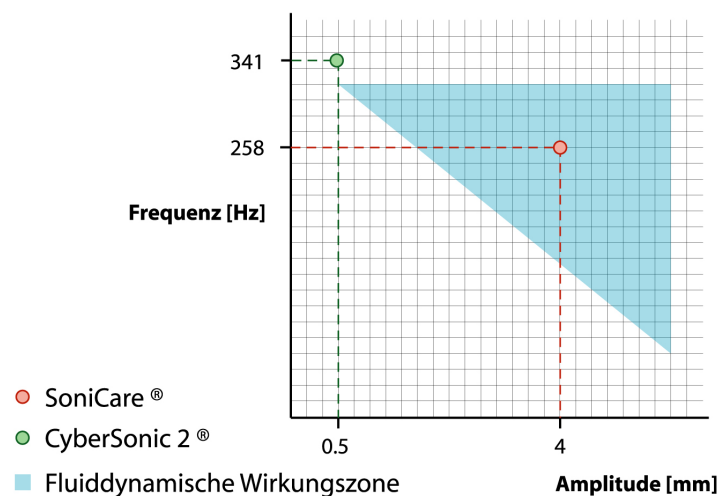
Trotzdem wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gezielt nach Ursachen für das schlechte Abschneiden der Cybersonic 2® gesucht. Eine Video-slow-motion-Analyse ihrer Borstenbewegungen ergab Inhomogenitäten, die auch Kühner und Raetzke zuvor bei Bürsten mit hoher Frequenz feststellten. Da die Borsten hier besonders unkoordiniert über approximale Flächen gleiten, vermuten die Autoren die Nachteile von Frequenzen dieser Höhe in der Reinigung der Approximalräume (Kühner und Raetzke, 1993).

Die Auslenkung der Borsten der Cybersonic 2® war während der Slow-motion-Untersuchung sehr gering. Ihre Schwingungen sind durch die höchste Frequenz (342 Hz), aber auch die kleinste Amplitude (ca. 0,5 mm) aller elektrischer Zahnbürsten zu charakterisieren. Es kann spekuliert werden, dass dieses Bewegungsmuster nicht nur hinsichtlich der approximalen Reinigung Nachteile aufweist, sondern generell nicht zur Produktion effektiver Mikroströmungen geeignet ist. Schließlich entscheidet die Größe der Scherkräfte im wässrigen Milieu darüber, ob ein Biofilm von der Zahnoberfläche gelöst und zerstört werden kann oder nicht.

Die Sonicare® generiert Borstenbewegungen, deren patentierte Frequenz und Amplitude mit 258 Hz und ca. vier Millimetern so eingestellt sind, dass suffiziente fluiddynamische Scherkräfte erzeugt werden.

In Anbetracht der Sachlage erscheinen Angaben ihrer Produktentwickler glaubwürdig, nach denen andere elektrische Bürsten dieses Ziel aufgrund der ungeeigneten Wahl von Frequenz und Amplitude verfehlen. Borstenbewegungen wie die der Cybersonic 2<sup>®</sup>, die außerhalb der in Abbildung 9 dargestellten, so genannten fluiddynamischen Wirkungszone liegen, werden als insuffizient bezeichnet (Philips, 2004).

Diese Theorie wird durch die Messwerte zur Cybersonic 2<sup>®</sup> in der vorliegenden Studie unterstützt, deren große Streuung bis unter Baseline-Niveau zusätzlich deutlich macht, wie unzuverlässig ihre Wirksamkeit einzuschätzen zu ist. Aufklärung würde jedoch nur ein direkter klinischer Vergleich beider schallaktiver Bürsten liefern.



*Abbildung 9: Fluiddynamische Wirkungszone schallaktiver Bürsten  
(frei nach Hefti 2004)*

### 6.2.3 Effektivität der Reinigung schwer zugänglicher Bereiche

Bellini et al. konstatierten, dass sich Verbesserungen der mit konventionellen Hilfsmitteln ausgeübten Mundhygiene vor allen Dingen an den leicht zugänglichen Stellen positiv auswirken, schwer zugängliche Bereiche aber davon kaum profitieren (Bellini et al., 1981). Differenziert man die Effektivität der drei Bürsten in der vorliegenden Studie nach vestibulären und oralen Bereichen, wird dieser Sachverhalt deutlicher als durch eine Differenzierung in Front- und Seitenzähne.

Die Reinigungswirkung war bei allen drei Testbürsten insgesamt an den schwer zu erreichenden oralen Flächen der Zähne geringer als an den vestibulären. Eine Ausnahme bildet die Cybersonic 2<sup>®</sup>, die den MAPI im Gegensatz zu allen anderen oral stärker reduzierte (0,35) als vestibulär (0,27).

Die Unterschiede zwischen der Effektivität ein und derselben Bürste an vestibulären und oralen Flächen waren bei der Handzahnbürste deutlich stärker, als bei beiden elektrischen Bürsten. Dies spricht dafür, dass elektrische Bürsten auch schwer erreichbare orale Flächen mit größerer Sicherheit reinigen.

Die Effektivitätsdifferenzen zwischen beiden elektrischen Bürsten fielen an oralen Flächen erheblich geringer aus als an vestibulären Flächen. So unterschieden sich die beiden elektrischen Zahnbürsten oral nur hinsichtlich des PBI signifikant zugunsten der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> ( $p < 0,05$ ). Vorteile schallaktiver Bürsten scheinen sich demnach auf schwer erreichbare Gebiete zu konzentrieren, die durch hydrodynamische Strömungen vergleichsweise gut gereinigt werden können (Stanford et al., 1997; Yankell et al., 1997).

Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend zu betonen, dass Empfehlungen für eine bestimmte Zahnbürste stets auf einer kritischen Bewertung des individuellen Mundhygienestatus eines Patienten beruhen sollten. Die Ergebnisse der Literaturrecherche ließen bereits vermuten, dass elektrische Zahnbürsten besonders für Menschen mit eingeschränkter Mundhygienefähigkeit von Vorteil sind (Ainamo et al., 1997; Haffajee et al., 2001; Rishheim et al., 1992). Solche Personengruppen wie Parodontitis- und Implantat-Patienten, kieferorthopädische Patienten und Senioren nehmen in der modernen Zahnmedizin ständig zu.

Obwohl die Cybersonic 2<sup>®</sup> in der vorliegenden Studie der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> in ihrer Effektivität hinsichtlich der Reduktion approximaler Plaque und gingivaler Entzündung signifikant unterlegen war, scheint sie an schwer zugänglichen Bereichen der Zähne gewisse Vorteile aufzuweisen. Hier kann sie Nachteile gegenüber der rotierend-oszillierenden Bürste teilweise kompensieren. Folglich erscheint sie wenn, dann besonders für solche Personengruppen geeignet, deren Mundhygiene in erster Linie an schwer zu reinigenden Flächen verbesserungsbedürftig ist.

Die Effektivität von Zahnbürsten mit Schalltechnologie darf folglich nicht generell unterschätzt werden. Die Slow-motion-Untersuchungen deuten jedoch darauf hin, dass sie je nach Bewegungsmuster des entsprechenden Fabrikates deutlich differenziert werden muss.

#### **6.2.4 Klinische Relevanz**

Während in der Vor-Fluorid-Ära nur eine perfekte Mundhygiene die Entstehung von Karies hemmen konnte, hat in Zeiten regelmäßiger Fluoridierung bereits die Reduzierung der Plaque einen kariespräventiven Effekt (Mathiesen et al. 1996). Aufgrund der synergistischen Wirkung von mechanischer Zahnreinigung und Fluoriden erscheint eine geringe Menge an Plaque in Bezug auf die Prävention von Karies, nicht aber in Bezug auf die Prävention von Gingivitis und Parodontitis, akzeptabel.

Diese Umstände verändern teilweise den Bewertungsmaßstab für Zahnbürsten. Es muss die Frage betrachtet werden, ob die ermittelten statistisch signifikanten Differenzen zwischen den Zahnbürsten insbesondere für die Kariesprophylaxe auch tatsächlich von klinischer Relevanz sind oder auch durch methodische Fehler verursacht worden sein könnten (Aass und Gjermo, 2000). Die statistische Signifikanz allein beweist schließlich nicht, ob die Ergebnisse klinisch relevant sind.

Um Ergebnisse folglich nicht überzubewerten, wurde von verschiedenen Autoren ein klinisches Relevanz-Level definiert. Da keine Daten darüber existieren, welche Unterschiede in der Plaqueentfernung als klinisch relevant einzuschätzen sind, wurde die Schwelle der klinischen Signifikanz durch verschiedene Autoren willkürlich festgelegt. Während Dörfer et al. eine Differenz von 10% in der relativen Plaqueentfernung zwischen den Bürsten festlegten (Dörfer et al., 2001), empfiehlt die American Dental Association (ADA) die Reduktion der Indizes um 15% gegenüber der Baseline als Schwelle der Relevanz. Andere Forschungsgruppen geben dagegen 20% als adäquaten Wert an (Imrey, 1992; Imrey et al., 1994). Van der Weijden et al. stellen die klinische Relevanz von Veränderungen dieser Größenordnung in Frage. Statistisch signifikante Unterschiede ermittelten sie, wenn sich die Indizes zweier Gruppen um 25% unterschieden und bezeichnen diesen Wert folglich als Schwelle der klinischen Relevanz (Van der Weijden et al., 1994a).

Letztendlich kann nicht genau bestimmt werden, wo die tatsächliche klinische Relevanz einer Plaqueentfernung beginnt. Als sicher gilt nur, dass eine Plaquereduktion in jedem Falle sinnvoll ist.

Betrachtet man die prozentuale Verbesserung der klinischen Parameter in der vorliegenden Studie vor diesem Hintergrund, muss die klinische Relevanz der Veränderungen zunächst differenziert werden. Die Referenzzahnbürste (MAPI: 1,4%, QHI: 3,6%, PBI: 8,5%) hat erwartungsgemäß keine klinisch relevanten Veränderungen verursacht. Die elektrischen Bürsten (Cybersonic: MAPI: 12,6%, QHI: 15,5%, PBI: 29,5%) (Braun: MAPI: 15,6%, QHI: 15,3%, PBI: 44,5%) haben nach der Empfehlung von Van der Weijden et al. nur bezüglich des gingivalen Gesundheitszustandes klinisch relevante Verbesserungen hervorgerufen (Van der Weijden et al., 1994a). Berücksichtigt man die von der ADA angegebene Schwelle, so haben beide elektrischen Zahnbürsten alle Parameter mit einer Ausnahme (Cybersonic: MAPI: 12,5%) klinisch relevant verbessert. Der Vergleich der elektrischen mit der manuellen Bürste resultiert nach beiden Richtlinien nur hinsichtlich des PBI in klinisch relevanten Unterschieden.

Unter diesen Voraussetzungen kann letztendlich vernachlässigt werden, dass in der vorliegenden Studie zwei Indizes in der Baseline-Untersuchung statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen aufwiesen. Sowohl QHI als auch PBI lagen zum Zeitpunkt Baseline in der Gruppe Cybersonic 2<sup>®</sup> signifikant höher als in der Gruppe Handzahnbürste, obwohl durch streng definierte Einschlusskriterien, Stratifizierung, Randomisierung und eine professionelle Zahnreinigung versucht wurde, die Baseline-Indizes der Probanden zu homogenisieren.

Die oben dargelegte Dimension der Effektivitätsunterschiede beider Bürsten spricht jedoch dafür, dass dieses Missverhältnis im Hinblick auf die Studienergebnisse nivelliert wurde. Außerdem wurden als Konsequenz aus den signifikant variierenden Indizes während der Baseline-Untersuchung nur die Differenzen zwischen Baseline- und Abschlussuntersuchung für die Bewertung der Zahnbürsteneffektivität herangezogen.

### 6.2.5 Subjektive Bewertung (Probandenfragebogen)

Die subjektive Beurteilung der drei Testbürsten durch die Probanden stimmt grundsätzlich mit der objektiven Bewertung ihrer Effektivität in der vorliegenden Studie überein. Die Handzahnbürste fand den geringsten Zuspruch. Im Gesamturteil wurden beide elektrische Bürsten (Braun: 1,8; Cybersonic: 2,3) besser als die manuelle Referenzzahnbürste (2,8) eingeschätzt; jedoch bezeichneten immerhin 72,5% ihrer Nutzer die Handzahnbürste als „gut“ bzw. „befriedigend“. Diese Einschätzung unterstreicht, was in vorangegangenen Studien eindeutig demonstriert wurde. Bei korrekter Anwendung sind sowohl manuelle als auch elektrische Zahnbürsten geeignet, Plaque zu entfernen (Johnson und Mc Innes, 1994; Stoltze und Bay, 1994; Tritten und Armitage, 1996). Elektrische Bürsten können den Handzahnbürsten aber in ihrer Effektivität überlegen sein (Baab und Johnson, 1989; Glavind und Zeuner, 1986; Killoy et al., 1989; Lazarescu et al., 2003; Preber et al., 1991; Williams et al., 2004). Ihre Vorteile sind vor allem auf die Handhabung zurückzuführen.

Die Bewertung der elektrischen Bürsten fiel deutlich zugunsten der Braun Oral-B 3D Excel® aus, die das durchschnittliche Gesamturteil 1,8 erhielt. Dies stimmt mit den Ergebnissen vorangegangener Studien überein (Dörfer et al., 2001; Van der Weijden et al., 1996), kann aber möglicherweise in gewissem Maße auf den öffentlichen Bekanntheitsgrad des Produktes zurückzuführen sein. Schließlich sind die Braun Oral-B 3D Excel® und ihre Vorgängermodelle der Bevölkerung im Gegensatz zu den beiden anderen Testbürsten seit Jahren aus der Werbung bekannt.

Die Anwender der Cybersonic 2® vergaben im Durchschnitt das Gesamturteil 2,3. Die Probanden der vorliegenden Studie reduzierten damit subjektiv den Unterschied zwischen Handzahnbürste und Cybersonic 2® auf ein Minimum gegenüber dem, den die Effektivitätsprüfung bestimmte.

Die große Streuung der Beurteilungen von Handzahnbürste und Cybersonic 2® im Vergleich zu denen der Braun Oral-B 3D Excel® zeigt generell, wie unsicher Erstere in Wirkung und Handhabung einzuschätzen sind. Bemerkenswert ist, dass die deutliche Favorisierung der Oral-B 3D Excel® im Einklang mit Ergebnissen der Effektivitätsprüfung steht.

Stellt man die Gesamturteile der Probanden (Elmex: 2,8; Braun: 1,8; Cybersonic: 2,3) den Durchschnittswerten ihrer Einzelurteile (Elmex: 2,4; Braun: 1,9; Cybersonic: 2,3) gegenüber, so zeigt sich, dass Einzelurteile und Gesamturteil für beide elektrische Bürsten sehr gut übereinstimmen. Lediglich die Handzahnbürste wurde im Gesamturteil schlechter als durch die Einzelnoten bewertet, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass ihr der Reiz des Neuen fehlt. Berücksichtigt man nur die Einzelurteile der manuellen Bürste, erscheinen die subjektiven Differenzen zur Cybersonic 2® nahezu ausgeglichen.

Laut Fragebogen führte das Benutzen aller drei Zahnbürsten in Einzelfällen zu Beschwerden an den Zähnen. Beschwerden an der Gingiva traten demgegenüber in deutlich höherem Maße auf und konzentrierten sich vor allem auf Teilnehmer, die die Handzahnbürste oder die Cybersonic 2® anwendeten. Immerhin 35% der Benutzer der Handzahnbürste sowie 15% derer, die mit der Cybersonic 2® putzten, gaben Probleme an. Die Beschwerden können wahrscheinlich auf Borstenhärte bzw. Anpressdruck der Bürsten zurückgeführt werden. Die Borstenhärte der Elmex 29® wurde im Fragebogen deutlich negativer als die der elektrischen Bürsten bewertet. 35% bezeichneten sie als „ausreichend“ bzw. „mangelhaft“.

Im Gegensatz zur Handzahnbürste und zur Cybersonic 2® besitzt die Braun Oral-B 3D Excel® eine so genannte „Andruckkontrolle“. Wird die Bürste mit überhöhtem Druck angewendet, setzen die pulsierenden Bewegungen der Bürste aus und als Warnsignal verändert sich das Laufgeräusch der Bürste. Berücksichtigt man, dass in der vorliegenden Studie nur 2,5% der Braun Oral-B 3D Excel®-Anwender Zahnfleischbeschwerden äußerten, erscheint dieser Mechanismus wirkungsvoll.

Die Größe des Bürstenkopfes gilt als wichtiges Konstruktionsmerkmal, welches die Handhabung und Effektivität einer Bürste beeinflusst. Die subjektiven Bewertungen der Bürstenköpfe von Handzahnbürste und Cybersonic 2® lauteten 2,7 und 2,0 und unterlagen einer starken Streuung. Die Beurteilung des Bürstenkopfes der Braun Oral-B 3D Excel® fiel mit 1,6 nicht nur positiver, sondern auch wesentlich eindeutiger aus. Der Vorteil oszillierend-rotierender Bürstenköpfe liegt besonders darin, dass sie sehr klein und deshalb gut geeignet sind, schwer erreichbare Zonen des Gebisses zu reinigen.

Bezüglich der Reinigung schwer zugänglicher Stellen tendierten die Urteile der Nutzer von Cybersonic 2® und Handzahnbürste mit 2,6 und 2,7 zu „befriedigend“. Erwartungsgemäß bewerteten die Anwender der Braun Oral-B 3D Excel® ihre Bürste mit 2,2 durchschnittlich besser. Es kann spekuliert werden, dass die überlegene Reinigungswirkung rotierend-oszillierender Bürsten in der vorliegenden Studie möglicherweise auf den Konstruktionsmerkmalen ihres Kopfes und weniger auf ihrem Bewegungsmuster beruht.

Rotierend-oszillierende Bürsten erreichen allerdings aufgrund ihres kleinen Kopfes auch weniger Zahnflächen pro Zeiteinheit als andere Bürsten. Zudem ist ihre Anwendung vergleichsweise technikintensiv. Jeder Zahn muss separat bearbeitet werden, wobei der Bürstenkopf exakt entlang des Gingivalsaumes zu führen und der Kontur des Zahnes folgend mit einer Schwenkbewegung in den Interdentalraum einzubringen ist. Aufgrund mangelnder Instruktion und Adaptationsfähigkeit wird in der Bevölkerung oft nur die Schrubbtechnik angewandt, unter der die Effektivität dieser Bürsten stark leidet (Schupke et al., 2000).

Schallaktive Bürsten sind in ihrer Anwendung weniger anspruchsvoll. Sie werden wie eine Handzahnbürste angesetzt und lediglich druckarm am Zahnfleischsaum entlang geführt. Schallzahnbürsten haben im Vergleich zu rotierend-oszillierenden Bürsten in aller Regel einen größeren Bürstenkopf, der in der gleichen Zeit ein größeres Areal reinigen kann. Dass dies mit dem Nachteil der schlechteren Manövrierbarkeit erkauft wird, spiegelt das Urteil zur Reinigung schwer erreichbarer Stellen in der vorliegenden Studie wider.

Die beim Putzen mit elektrischen Zahnbürsten auftretenden Vibrationen und Geräusche sind besonders bei schallaktiven Bürsten Ursachen einer Abneigung (Van der Weijden et al., 1996). Grossman et al. beschrieben, dass nach achtwöchigem Gebrauch 23% der Probanden die Sonicare® ablehnten (Grossman und Proskin, 1995).

In der vorliegenden Studie differenzierten die Probanden rotierend-oszillierende und schallaktive Zahnbürsten diesbezüglich relativ wenig (Braun: 2,3; Cybersonic: 2,6), wobei die Wertungen einer starken Streuung unterlagen.



Jeweils 45% beider Gruppen bezeichneten die Vibrationen als kaum unangenehm. 15% der Braun Oral-B 3D Excel®-Gruppe und immerhin 20% der Cybersonic 2®-Gruppe empfanden die Vibrationen jedoch als sehr unangenehm. Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, dass sich die Nutzer der Braun Oral-B 3D Excel® laut Fragebogen etwas schneller als die der Cybersonic 2® an die jeweilige Bürste gewöhnt haben. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Befund auf die Compliance der Patienten auswirken und zu Diskontinuitäten und damit zur Maskierung potentieller Vorteile von Bürsten führen kann.

Bezüglich der Frage, wie sich die Zähne nach dem Bürsten anfühlten, wurden die beiden elektrischen Bürsten (Braun: 1,4; Cybersonic: 1,6) deutlich besser als die manuelle (2,2) bewertet. Diese Rangfolge stimmt mit dem Ergebnis der Effektivitätsprüfung der vorliegenden Studie ebenso wie mit den subjektiven Angaben von Probanden einer anderen Untersuchung überein (Van der Weijden et al., 1996).

Die Auswertung des Fragebogens unterstreicht, dass manuelles Zähneputzen unter vielen Limitierungen leidet. Ihm fehlt der Reiz des Neuen. Realistischerweise muss jedoch berücksichtigt werden, dass nach einiger Zeit auch die Begeisterung für die elektrischen Bürsten nachlassen kann. Muhler untersuchte 280 Personen, die eine elektrische Zahnbürste gekauft hatten, über zwölf Monate. Ihre Putzfrequenz stieg während der ersten zwei Monate von einmal auf dreimal täglich an und fiel dann stetig auf einmal in zwei Tagen ab. Der Autor kam zu dem Schluss, dass der Neuheitseffekt einer elektrischen Bürste nach fünf bis sechs Monaten verschwindet (Muhler, 1969).

Mögliche Erklärungen für die geringe Effektivität der Handzahnbürste in der vorliegenden Studie sind in der schwierigen Putztechnik gegenüber dem elektrischen Bürsten zu sehen. Komplizierte Zahnputztechniken sind schwer zu erlernen und es ist darüber hinaus schwierig, das einmal Erlernte kontinuierlich beizubehalten. Bei den wenigsten Menschen ist jedoch eine manuelle Ungeschicklichkeit die Ursache für eine mangelhafte Mundhygiene. Vielmehr ist es die „menschliche Bequemlichkeit“, die der Konzentration auf eine Putztechnik im Wege steht (Glavind et al., 1981; Stoffel, 1986). Patienten sollten deshalb kontinuierlich zur korrekten Mundhygiene motiviert werden. Bei der Motivation können elektrische Geräte nützliche Helfer sein (Stalnacke et al.,

1995). Patienten empfinden das elektrische Putzen als zeitsparend und einfach, da die Reinigungstechnik die Konzentration auf das Einführen der Borsten in den gingivalen Sulkus erlaubt, während die Bürste eigenständig Putzbewegungen durchführt (Hellstadius et al., 1993). Die Compliance gegenüber elektrischen Zahnbürsten hat sich als hoch und unabhängig von sozialen Faktoren erwiesen. Dass die Vereinfachung des Zähneputzens dem Benutzer entgegenkommt und folglich als Compliance-verbessernder Faktor zu werten ist, ist nachvollziehbar. Schließlich kann eine positive Einstellung die Anstrengungen der Zahnreinigung akzeptabler gestalten. Besonders für Patienten mit niedriger Compliance und inadäquater Mundhygiene bringt der Gebrauch elektrischer Zahnbürsten deshalb einen entscheidenden Vorteil für die Plaquekontrolle mit sich (Hellstadius et al., 1993).

Weiterhin verleihen elektrische Zahnbürsten dem Benutzer eine gute Putzeffektivität, die die meisten mit einer Handzahnbürste nicht erreichen (Ainamo et al 1997). Ob die elektrische Bürste effektiver als das konventionelle Putzen ist, wenn die manuelle Putztechnik perfekt ist, muss noch bewiesen werden. Schließlich hat sich der Anwender als größte Variable hinsichtlich der Effektivität des Zähneputzens erwiesen. Klinische Studien zeigten, dass Vorteile elektrischer gegenüber manuellen Bürsten durch Probanden mit gutem Mundhygieneniveau neutralisiert werden können (Claydon et al., 2002). Das eindeutige Ergebnis der vorliegenden Untersuchung lässt jedoch die Vermutung zu, dass eine weitere Verbreitung elektrischer Zahnbürsten dazu beitragen könnte, das unzureichende Mundhygieneniveau der Bevölkerung zu steigern und damit die Mundgesundheit zu verbessern. Da ihre Zielgruppen in der modernen Zahnmedizin zunehmen, können die neuen Zahnbürsten durchaus einen Beitrag zum gesundheitspolitischen Ziel einer verbesserten Prophylaxe durch Stärkung der Eigenvorsorge leisten.

## 7 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden klinischen Untersuchung lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die drei untersuchten Zahnbürsten aufgrund ihrer Konstruktionsmerkmale für die Reduktion von Plaque und Gingivitis unterschiedlich geeignet sind.

Die elektrischen Zahnbürsten Braun Oral-B 3D Excel® und Cybersonic 2® sind der konventionellen Handzahnbürste Elmex 29® im Hinblick auf die Reduktion von Plaque und Gingivitis statistisch signifikant und klinisch relevant überlegen und sollten daher vorgezogen werden. Die erste Arbeitshypothese wird damit verifiziert.

Zwischen beiden elektrischen Zahnbürsten liegen hinsichtlich der Reinigung schwer zugänglicher Bereiche Effektivitätsunterschiede vor. Die schallaktive Cybersonic 2® ist der rotierend-oszillierenden Braun Oral-B 3D Excel® in Bezug auf die Reduktion approximaler Plaque und gingivaler Blutungen statistisch signifikant unterlegen, während beide in Bezug auf die Reduktion der Glattflächenplaque als gleichwertig einzuschätzen sind. Dies führt zur Falsifizierung der zweiten Arbeitshypothese.

Es bleibt zu prüfen, ob das im Vergleich zu In-vitro-Untersuchungen schlechte Abschneiden der Cybersonic 2® auf unausgereifte Konstruktionsmerkmale zurückzuführen ist oder generell auf alle Vertreter schallaktiver Zahnbürsten übertragen werden kann.

Die subjektive Bewertung durch die Probanden stimmt mit den klinischen Ergebnissen sehr gut überein. Ihr zufolge findet die Handzahnbürste in der Bevölkerung den geringsten Zuspruch, während die Braun Oral-B 3D Excel® favorisiert wird.

Wenn es gelingt, breite Bevölkerungsschichten zur Anwendung neuartiger elektrischer Zahnbürsten mit überlegener Reinigungswirkung zu bewegen, könnte damit bevölkerungsbezogen ein besseres Mundhygieneniveau erreicht und längerfristig die Mundgesundheit weiter verbessert werden.

## 8 Zusammenfassung

Trotz jahrzehntelanger, intensiver Bemühungen stellen die durch mikrobielle Plaque hervorgerufenen Erkrankungen des Zahnes und seines Halteapparates noch immer eine große Herausforderung für die Zahnmedizin und ein erhebliches gesellschaftliches Problem dar.

Das Eindämmen dieser Erkrankungen ist ohne eine Steigerung der Effektivität der häuslichen Plaquekontrolle nicht denkbar. Diesbezügliche Forderungen der Präventivzahnmedizin erscheinen jedoch angesichts der tatsächlich vorgefundenen Putzgewohnheiten unrealistisch (Marthaler, 1978; Mintel und Crawford, 1992; Warren et al., 1998). Eine Steigerung des häuslichen Mundhygieneniveaus mittels Motivation und Instruktion ist wenig erfolgversprechend (Glavind et al., 1981; Weinstein et al., 1989; Zimmer et al., 2001).

Um der dringenden Notwendigkeit nach Verbesserung der häuslichen Zahnpflege gerecht zu werden, ist es deshalb naheliegend, die Effektivität der Zahnbürsten so zu verbessern, dass sie möglichst unabhängig von der individuellen Putztechnik und -zeit eine höhere Reinigungswirkung erzielen (Saxer und Yankell, 1997b).

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, zwei neuartige elektrische Zahnbürsten (Braun Oral-B 3D Excel® & Cybersonic 2®) mit einer Handzahnbürste (Elmex 29®) in ihrer klinischen Effizienz bei der Reduktion von Plaque und Gingivitis zu vergleichen.

120 gesunde Probanden im Alter zwischen 18 und 65 Jahren, deren Mundhygiene Verbesserungspotenzial aufwies, nahmen an der Studie teil, die einem untersucherblinden Parallel-Design folgte. Die Probanden wurden den Testzahnbürsten entsprechend randomisiert auf drei Gruppen verteilt.

Nach der Screening-Untersuchung erhielt jeder Teilnehmer eine professionelle Zahnreinigung. In der vier Wochen später stattfindenden Baseline-Untersuchung erfolgte die Objektivierung des Mundhygieneniveaus der Probanden mittels Indizes für den Plaquebefall (QHI, MAPI) und den Entzündungsgrad der Gingiva (PBI). Anschließend verwendeten die Probanden die jeweilige Testbürste mit einheitlicher Zahnpasta acht Wochen lang zweimal täglich für zwei Minuten im Hausgebrauch.

Sie wurden angewiesen, dabei von anderen Hygienemaßnahmen abzusehen.

Das Mundhygieneniveau der Teilnehmer wurde durch die Untersucherin in einer Zwischenuntersuchung nach vier Wochen und einer Abschlussuntersuchung nach acht Wochen mittels der drei Indizes (QHI, API, PBI) reevaluiert, um Schlussfolgerungen auf die Zahnbürsteneffektivität abzuleiten.

Die statistische Auswertung zeigte, dass nach vier und acht Wochen, alle Indizes betreffend, die Anwendung beider elektrischer Bürsten in Verbesserungen resultierte, die den Ergebnissen der Handzahnbürste statistisch signifikant überlegen waren ( $p < 0,001$ ). Diese Ergebnisse treffen auf Probanden zu, deren unzureichendes Mundhygieneniveau dem Bevölkerungsdurchschnitt entspricht. Hier stellen elektrische Bürsten eine besonders effektive Alternative zu den manuellen dar und sollten deshalb vorgezogen werden. Generell ist jedoch bekannt, dass Vorteile elektrischer Bürsten durch Probanden mit einer guten Mundhygienetechnik nivelliert werden können (Claydon et al., 2002; Heintze et al., 1996).

Die Cybersonic 2<sup>®</sup> war der Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> im Hinblick auf die approximale Plaquereduktion nach acht Wochen ( $p < 0,05$ ) sowie die Gingivitisreduktion nach vier und acht Wochen unterlegen ( $p < 0,01$ ). Obwohl schallaktive Bürsten der Literatur zufolge in vitro und in vivo bei speziellen Personengruppen Vorteile aufweisen, erscheint die Cybersonic 2<sup>®</sup> demnach für die „breite“ Bevölkerung weniger geeignet, als rotierend-oszillierende Bürsten.

Die am Ende der Studie mittels eines Fragebogens erhobenen subjektiven Einschätzungen der Testzahnbürsten durch die Probanden stimmten eindeutig mit der objektiven Bewertung der klinischen Effektivität überein.

## 9 Summary

Despite decades of intensive efforts, plaque-associated diseases of tooth and periodontium still represent a great challenge for dentistry and a considerable social problem.

Containment of these diseases is not conceivable without improvement of domestic plaque control. In view of actually existing brushing habits, requirements of preventive dentistry regarding this, seem to be unrealistic (Marthaler, 1978; Mintel und Crawford, 1992; Warren et al., 1998). Increasing the level of domestic oral hygiene by means of motivation and instruction is little promising (Glavind et al., 1981; Weinstein et al., 1989; Zimmer et al., 2001).

In order to come up to the urgent necessity of improving the domestic dental hygiene, it is therefore obvious to improve toothbrushes' efficacy thus, that they reach a superior cleaning effect independent of individual brushing technology and duration (Saxer und Yankell, 1997b).

It was the objective of the present study to evaluate the efficacy of two new power toothbrushes (Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> & Cybersonic 2<sup>®</sup>) and one manual toothbrush (Elmex 29<sup>®</sup>) in reducing plaque and preventing gingivitis.

120 subjects at the age of 18 to 65, whose dental hygiene was open to improvement, took part in the examiner-blind parallel study. Corresponding to the testbrushes they were randomly assigned to three groups.

After screening, each participant got a professional tooth cleaning. Four weeks later, at baseline, two plaque indices (QHI, MAPI) and one gingivitis index (PBI) were recorded. Thereafter the subjects used the assigned toothbrushes together with standardized toothpaste for eight weeks two times a day for two minutes each. They were instructed to leave out any other measures of oral hygiene. In order to draw conclusions for toothbrushes' efficacy, the level of dental hygiene was re-evaluated after four and eight weeks.

Statistical analysis revealed that all indices showed statistically significant reductions for both power toothbrushes which were superior to the manual brush ( $p < 0,001$ ). The results apply to subjects whose insufficient level of oral hygiene corresponds to the average of the population. Here power toothbrushes represent a particularly effective alternative to the manual ones and therefore should be preferred. However it is generally well-known that advantages of powered toothbrushes can be levelled out by subjects with a sufficient oral hygiene technique (Claydon et al., 2002; Heintze et al., 1996).

Braun Oral-B 3D Excel<sup>®</sup> was superior to Cybersonic 2<sup>®</sup> with respect to reduction of approximal plaque after eight weeks ( $p < 0.05$ ) and reduction of gingivitis after four and eight weeks ( $p < 0,01$ ). One can conclude that although sonic toothbrushes showed advantages in vitro and in vivo in special groups, Cybersonic 2<sup>®</sup> seems to be less suitable for the masses than oscillating brushes.

Subjective assessment of testbrushes by the participants inquired for at the end of the study by means of a questionnaire, correspond to the objective evaluation of its clinical efficacy.

## Literaturverzeichnis

Aass, A. M. und Gjermo, P. (2000): Comparison of oral hygiene efficacy of one manual and two electric toothbrushes., *Acta Odontol Scand* 58(4), Seite 166-170.

Ainamo, A. und Bay, L. (1975): Problems and proposals for recording gingivitis and plaque., *Int Dent J* 25, Seite 229-235.

Ainamo, J.; Xie, Q.; Ainamo, A. und Kallio, P. (1997): Assessment of the effect of an oscillating/rotating electric toothbrush on oral health. A 12-month longitudinal study., *J Clin Periodontol* 24, Seite 28-33.

Alcouffe, F. (1988): Improvement of oral Hygiene habits: a physiological approach. 2-year data., *J Clin Periodontol* 15, Seite 617-620.

Ash, M. M. (1964): A review of the problems and the results of studies on manual and power toothbrushes., *J Periodontol* 35, Seite 202-213.

Axelsson, P. und Lindhe, J. (1978): Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults., *J Clin Periodontol* 5, Seite 133-151.

Axelsson, P. und Lindhe, J. (1981): Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. Results after 6 years., *J Clin Periodontol* 8, Seite 239-248.

Axelsson, P. und Lindhe, J. (1981): Effect of oral hygiene instruction and professional toothcleaning on caries and gingivitis in schoolchildren., *Community Dent Oral Epidemiol* 9, Seite 251-255.

Axelsson, P.; Lindhe, J. und Nystrom, B. (1991): On the prevention of caries and periodontal disease. Results of a 15 year longitudinal study., *J Clin Periodontol* 18, Seite 182-189.



Baab, D. A. und Johnson, R. H. (1989): The effect of a new electric toothbrush on supragingival plaque and gingivitis., J Periodontol 60, Seite 336-341.

Baehni, P. C.; Thilo, B. E.; Chapuis, B. und Pernot, D. (1992): Effects of ultrasonic and sonic scalers on dental plaque microflora in vitro and in vivo., J Clin Periodontol 19, Seite 455-459.

Barnes, C. M.; Weatherford, T. W. und Menaker, L. (1993): A comparison of the Braun Oral-B Plaque Remover (D5) electric and a manual toothbrush in affecting gingivitis., J Clin Dent 4, Seite 48-51.

Bass, C. C. (1954): An effective method of personal oral hygiene., Journal of Louisiana State Medical Society 106, Seite 57-73.

Bastiaan, R. J. (1984): Comparison of the clinical effectiveness of a single and double headed toothbrush., J Clin Periodontol 11, Seite 331-339.

Bauch, J.; Eder-Debye, R. und Michaelis, W. (1991): Das Mundhygieneverhalten., Zahnärzte, Institut der deutschen, Mundgesundheitszustand- und verhalten in der Bundesrepublik Deutschland. Seite 366-376, Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.

Bellini, H. T.; Arneberg, P. und Von der Fehr, F. R. (1981): Oral hygiene and caries. A review., Acta Odontol Scand 39, Seite 257-265.

Benson, B. J.; Henryon, G. und Grossman, E. (1993): Development and verification of the proximal/marginal plaque index., J Clin Dent 4, Seite 14-20.

Bergenholtz, A.; Gustafsson, L. B.; Segerlund, N.; Hagberg, C. und Nygaard Ostby, P. (1984): The role of brushing technique and toothbrush design in plaque removal., Scand Dent Res 92, Seite 344-351.

Blanco, V. L.; Cobb, C. M.; Williams, K. B. und Manch-Citron, J. N. (1997): In vitro effect of the Sensonic toothbrush on *Treponema denticola*., J Clin Periodontol 24, Seite 318-323.

Bortz, J. (1993): Statistik für Sozialwissenschaftler. Seite 374, Springer, Berlin.

Brunelle, J. A. und Carlos, J. P. (1990): Recent trends in dental caries in U.S. children and the effect of water fluoridation., J Dent Res 69, Seite 723-727.

Chilton, N. W. und Fleiss, J. L. (1986): Design and analysis of plaque and gingivitis clinical trials., J Clin Periodontol 13(5), Seite 400-410.

Claydon, N.; Addy, M.; Scratcher, C.; Ley, F. und Newcombe, R. (2002): Comparative professional plaque removal study using 8 branded toothbrushes., J Clin Periodontol 29, Seite 310-316.

Crawford, A. N.; McAllan, L. H.; Murray, J. J. und Brook, A. H. (1975): Oral hygiene instruction and motivation in children using manual and electric toothbrushes., Community Dent Oral Epidemiol 3, Seite 257-261.

Cronin, M. J.; Dembling, W. Z.; Warren, P. R. und King, D. W. (1998): A 3-month clinical investigation comparing the safety and efficacy of a novel electric toothbrush with a manual toothbrush., Am J Dent 11, Seite 17-23.

Cross, W. G.; Forrest, J. O. und Wade, A. B. (1962): A comparative study of tooth cleansing using conventional and electrically operated toothbrushes., Br Dent J 3, Seite 19-22.

Danser, M. M.; Timmermann, M. F.; Jzerman, Y.; Piscaer, M. I.; Van der Velden, U. und Van der Weijden, G. A. (2003): Plaque removal with a novel manual toothbrush (X-Active) and the Braun Oral-B 3D Plaque Remover., J Clin Periodontol 30, Seite 138-144.

Day, J. und Martin, D. M. (1998): Efficacy of a sonic toothbrush for plaque removal by caregivers in a special need population., *Special Care in Dentistry* 5, Seite 202-206.

De Rouen, T. A. (1995): Statistical and methodological issues in temporomandibular disorder research., Sessle, B.; Bryuyant, P. S. und Dionne, R. A., *Temporomandibular disorders and related pain - progress in pain research and management*. 4 Seite 459-465, IASP Press, Seattle.

De Sanctis, M.; Zuchelli, G. und Clauser, C. (1996): Bacterial colonization of barrier material and periodontal regeneration., *J Clin Periodontol* 23, Seite 1039-1046.

Dentino, A. R.; Derderian, G.; Wolf, M. A.; Cugini, M. A. und Johnson, R. (2002): Six month comparison of powered versus manual toothbrushing for safety and efficacy in mechanical plaque control., *J Periodontol* 73, Seite 770-778.

Donly, K. J.; Vargas, M.; Meckes, M.; Shama, A.; Kugel, G. und Hurley, E. (1997): In vitro comparison of restoration wear and tensile strength following extended brushing with Sonicare and a manual toothbrush., *J Clin Dent* 8 (2 Spec No), Seite 30-35.

Dörfer, C. E.; Berbig, B.; von Bethlenfalvy, E. R.; Staehle, H. J. und Pioch, T. (2001): A clinical study to compare the efficacy of 2 electric toothbrushes in plaque removal., *J Clin Periodontol* 28, Seite 987-994.

Driessens, F. C. M. (1982): *Mineral aspects of dentistry.*, Karger, Basel.

Engel, D.; Nessly, M.; Morton, T. und Martin, R. (1993): Safety testing of a new electronic toothbrush., *J Periodontol* 64, Seite 941-946.

Engel, D.; Ortblad, K.; Whitfield, D. und Slots, J. (1997): In vivo removal of plaque bacteria by fluid forces created by a sonic toothbrush., *J Periodontol*.

Fischer, C.; Lussi, A. und Hotz, P. (1995): Kariostatische Wirkungsmechanismen der Fluoride., *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105, Seite 311-317.

Forgas-Brockmann, L. B.; Carter-Hanson, C. und Killoy, W. J. (1998): The effects of an ultrasonic toothbrush on plaque accumulation and gingival inflammation., J Clin Periodontol 25, Seite 375-379.

Frandsen, A. (1986): Mechanical oral hygiene practices., Loe, H. und Kleinman, D., Dental plaque control measures and oral hygiene practices. Seite 93-119, IRL Press Limited, Oxford.

Frandsen, A.; Barbano, J. P.; Suomi, J. D.; Chang, J. J. und Burke, A. D. (1970): The effectiveness of the Charters', scrub and roll methods of toothbrushing by professionals in removing plaque., Scand J Dent Res 78, Seite 459-463.

Gibson, J. A. und Wade, A. B. (1977): Plaque removal by Bass and roll brushing techniques., J Periodontol 48, Seite 456-459.

Gibson, S. und Williams, S. (1999): Dental Caries in Pre-School Children: Associations with Social Class, Toothbrushing Habit and Consumption of Sugars and Sugar-Containing Foods., Caries Res 33, Seite 101-113.

Glavind, L. und Zeuner, E. (1986): The effectiveness of a rotary electric toothbrush on oral cleanliness in adults., J Clin Periodontol 13, Seite 135-138.

Glavind, L.; Zeuner, E. und Attström, R. (1981): Oral hygiene instruction of adults by means of a self-instructional manual., J Clin Periodontol 8, Seite 165-176.

Graves, R. C.; Disney, J. A. und Stamm, J. W. (1989): Comparative effectiveness of flossing and brushing in reducing interproximal bleeding., J Periodontol 60, Seite 243-247.

Greene, J. C. und Vermillion, J. R. (1960): The oral hygiene index: A method for classifying oral hygiene status., J Am Dent Ass 61, Seite 172-179.

Grossman, E. und Proskin, H. M. (1995): A comparative clinical investigation of the safety and efficacy of an oscillating/rotating electric toothbrush and a sonic toothbrush., J Clin Dent 6, Seite 108-112.

Grossman, E. und Proskin, H. M. (1997): A comparison of the efficacy and safety of an electric and a manual children's toothbrush., J Am Dent Ass 128, Seite 469-474.

Gülzow, H. J. (1965): Die Mundhygiene in ihren Beziehungen zum marginalen Parodontium und zur Kariesfrequenz., Dtsch Zahn-Mund-Kieferheilk 44, Seite 97-105.

Gustafsson, B. E.; Quensel, C. E.; Swenander Lanke, L.; Lundqvist, C.; Grahnen, H. und Bonow, B. E. (1954): The effect of different levels of carbohydrate intake on caries activity in 436 individuals observed for five years., Acta Odontol Scand 11, Seite 232-364.

Haffajee, A. D.; Thompson, M.; Torresyap, G.; Guerrero, D. und Socransky, S. S. (2001): Efficacy of manual and powered toothbrushes. Effect on clinical parameters., J Clin Periodontol 28, Seite 937-946.

Hansen, P. A.; Woolsey, G.; Killoy, W. J. und Hanson, C. (1998): Effect of brushing with sonic and counterrotational toothbrushes on the bond strength of full veneers., Journal of Prosthetic Dentistry 80, Seite 429-433.

Hawkins, B. F.; Kohout, F. J.; Lainson, P. A. und Heckert, A. (1986): Duration of toothbrushing for effective plaque control., Quintessence Int 17, Seite 361-365.

Heasman, P. A.; Stacey, F.; Heasman, L.; Sellers, P.; MacGregor, I. D. M. und Kelly, P. J. (1999): A comparative study of the Philips HP 735, Braun/Oral B D7 and the Oral B 35 Advantage toothbrushes., J Clin Periodontol 26, Seite 85-90.

Heintze, S. D.; Jost-Brinkmann, P. G. und Loundos, J. (1996): Effectiveness of three different types of electric toothbrushes compared with a manual technique in orthodontic patients., Am J Orthod 110, Seite 630-638.

Hellstadius, K.; Asman, B. und Gustafsson, A. (1993): Improved maintenance of plaque control by electrical tooth brushing in periodontitis patients with low compliance., J Clin Periodontol 20, Seite 235-237.

Ho, H. P. und Niederman, R. (1997): Effectiveness of the Sonicare sonic toothbrush on reduction of plaque, gingivitis, probing pocket depth and subgingival bacteria in adolescent orthodontic patients., J Dent Res 74, Seite 49.

Holt, R. D. und Murray, J. J. (1997): Developments in fluoride toothpastes-an overview., Community Dent Health 14 (1), Seite 4-10.

Holtzmark, J.; Johnson, I.; Sikkeland, T. und Skavlem, S. (1954): Boundary layer flow near a cylindrical obstacle in an oscillating incompressible fluid., J Acoust Soc Am 26, Seite 26-39.

Hope, C. K. und Wilson, M. (2002): Comparison of the interproximal plaque removal efficacy of two powered toothbrushes using in vitro oral biofilms., Am J Dent 15, Seite 7B-11B.

Hope, C. K. und Wilson, M. (2003): Effects of dynamic fluid activity from an electric toothbrush on in vitro oral biofilms., J Clin Periodontol 30, Seite 624-629.

Hovland, D.; Cuevas, R.; Wu-Yuan, C. D. und Stanford, C. (1995): In vitro removal of plaque on enamel surfaces by a sonic toothbrush., J Dent Res 74, Seite 49.

Huber, B.; Rüeger, K. und Hefti, A. (1985): Der Einfluß der Zahnreinigungsdauer auf die Plaquereduktion., Schweiz Monatsschr Zahnmed 95, Seite 985-992.

Imrey, P. B. (1992): Logical and analytical issues in dental/oral product comparison research., Journal of Periodontal Research 27 (special issue), Seite 328-341.

Imrey, P. B.; Chilton, N. W. und Pihlstrom, H. W. (1994): Recommended revisions to American Dental Association guidelines for acceptance of chemotherapeutic products for gingivitis control., J Dent Res 29, Seite 299-304.

Isaacs, R. L.; Beiswanger, B. B.; Rosenfield, S.T.; Crawford, J. L.; Mau, M. S. und Eckert, G. J. (1998): A crossover clinical investigation of the safety and efficacy of a new oscillating/rotating electric toothbrush and a high frequency electric toothbrush., Am J Dent 11, Seite 7-12.

Johnson, B. D. und Mc Innes, C. (1994): Clinical evaluation of the efficacy and safety of a new sonic toothbrush., J Periodontol 65, Seite 692-697.

Jones, H.; Feth, L.; Rumpf, D.; Hefti, A. und Mariotti, A. (2000): Acoustic energy affects human gingival fibroblast proliferation but leaves protein production unchanged., J Clin Periodontol 27, Seite 832-838.

Kalsbeek, H. und Verrips, G. H. W. (1990): Dental caries prevalence and the use of fluorides in different European countries., J Dent Res 69, Seite 728-732.

Kanner, L. (1926): Folklore and cultural history of the toothpick and toothbrush., Dent Cos 68, Seite 691-696.

Kaschke, I.; Zeller, A.; Zimmer, S.; Barthel-Zimmer, C. R. und Jahn, K.-R. (2004): Patienten mit Behinderungen-welche Zahnbürsten sind zu empfehlen?, Prophylaxe-Impuls, Seite 16-23.

Khambay, B. S. und Walmsley, A. D. (1995): An in-vitro evaluation of electric toothbrushes., Quintessence Int 26, Seite 841-848.

Khocht, A.; Spindel, L. und Person, P. (1992): A comparative clinical study of the safety of a new sonic toothbrush., J Periodontol 65, Seite 692-697.

Kidd, E. A. M. und Joyston-Bechal, S. (1997): Essentials of dental caries: the disease and its management., Oxford University Press, London.

Killooy, W. J.; Love, J. W.; Love, J.; Fedi, P. F. und Tira, D. E. (1989): The effectiveness of a counter-rotary action powered toothbrush and conventional toothbrush on plaque removal and gingival bleeding. A short-term study., J Periodontol 60, Seite 473-477.

Kleister, J. und Imfeld, T. (1993): Evaluation of the efficacy of interdental cleaning devices., J Clin Periodontol 20, Seite 707-713.

Koch, G. und Lindhe, J. (1970): The state of the gingiva and the caries increment in school-children during and after withdrawal of various prophylactic measures., McHugh, W. D., Dental Plaque. Seite 271-281, Livingstone, Edinburgh.

König, K. G. und Navia, J. M. (1995): Nutritional role of sugars in oral health., Am J Clin Nutr. 62, Seite 275-282.

König, K.G. (1987): Karies und Kariesprophylaxe., Thieme, Stuttgart.

Kühner, M. und Raetzke, P. (1993): Relative effectiveness of various alternating frequencies of a power toothbrush., J Clin Periodontol 20, Seite 75-80.

Lange, D. E.; Plagmann, H. C.; Eenboom, A. und Promesberger, A. (1977): Klinische Bewertungsverfahren zur Objektivierung der Mundhygiene., Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 32, Seite 44-47.

Lazarescu, D.; Bocaneala, S.; Iliescu, A. und De Boever, J. A. (2003): Efficacy of plaque removal and learning effect of a powered and a manual toothbrush., J Clin Periodontol 30, Seite 726-731.

Levine, R. (1996): The Scientific Basis of Dental Health Education: A Policy Document., London, Health Education Authority



Lindhe, J. und Koch, G. (1967): The effect of supervised oral hygiene on the gingiva of children., J Periodontol Res 2, Seite 215-220.

Lindhe, J.; Westfelt, E.; Nyman, S.; Socransky, S. S. und Haffajee, A. D. (1984): Longterm effect of surgical/nonsurgical treatment of periodontal disease., J Clin Periodontol 11, Seite 448-458.

Listgarten, M. A. (1992): General issues in efficacy equivalency and superiority trials: clinical considerations., J Periodontol Res 27, Seite 314-319.

Löe, H.; Theilade, E. und Jensen, S. (1965): Experimental gingivitis in man., J Periodontol 36, Seite 177-187.

Lövdal, A.; Arnö, A. und Waerhaug, J. (1958): Incidence of clinical manifestations of periodontal disease in light of oral hygiene and calculus formation., J Am Dent Ass 56, Seite 21-33.

Mac Gregor, I. D. M. und Rugg-Gunn, A. J. (1979): Survey of toothbrushing duration in 85 uninstructed English schoolchildren., Community Dent Oral Epidemiol 7, Seite 297-298.

Mac Gregor, I. D. M. und Rugg-Gunn, A. J. (1985): Toothbrushing duration in 60 uninstructed young adults., Community Dent Oral Epidemiol 13, Seite 121-122.

Mansbridge, J. N. (1960): The effects of oral hygiene and sweet consumption on the prevalence of dental caries., Br Dent J 109, Seite 343-348.

Marthaler, T. M. (1978): Einmal oder dreimal am Tag Zahnbürsten?, Schweiz Monatsschr Zahnmed 88, Seite 113-121.

Marthaler, T. M. (1986): Explanation for changing pattern of disease in western world cariology today. Seite 13-23, Karger, Basel.

Mathiesen, A. T.; Ogaard, B. und Rolla, G. (1996): Oral hygiene as a variable in dental caries experience in 14-year-olds exposed to fluoride., *Caries Res* 30, Seite 29-33.

Mc Allan, L. H.; Murray, J. J.; Brook, A. H. und Crawford, A. N. (1975): Oral hygiene instruction in children using manual and electric toothbrushes., *Br Dent J* 140, Seite 51-56.

Mc Cracken, G. I.; Janssen, J.; Swan, M.; Steen, N.; de Jager, M. und Heasman, P. A. (2003): Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush., *J Clin Periodontol* 30, Seite 409-413.

Mc Innes, C.; Engel, D. und Martin, R. (1993): Fimbria damage and removal of adherent bacteria after exposure to acoustic energy., *Oral Microbiol Immunol* 8, Seite 277-282.

Mc Innes, C.; Engel, D.; Monica, B. und Martin, R. (1992): Reduction in adherence of *Actinomyces viscosus* after exposure to low-frequency acoustic energy., *Oral Microbiol Immunol* 7, Seite 171-176.

Mc Kendrick, A. J. W.; Barbenel, L. M. H. und Mc Hugh, L. M. H. (1968): A 2-year comparison of hand and electric toothbrushes., *J Periodontol Res* 3, Seite 224-231.

Mc Nabb, H.; Mombelli, A. und Lang, N. P. (1992): Supragingival cleaning 3 times a week: the microbiological effects in moderately deep pockets., *J Clin Periodontol* 19, Seite 348-356.

Meyle, J. (1997): Indizes., Heidemann, D., *Praxis der Zahnheilkunde*. Bd. 4. Seite 53-71, Urban und Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore.

Micheelis, W. und Reich, E. (1991): Mundgesundheitszustand und -verhalten in der Bundesrepublik Deutschland., *Zahnärzte*, Institut der Deutschen, Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.

Micheelis, W. und Reich, E. (1999): Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Zahnärzte, Institut der deutschen, Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.

Mintel, T. E. und Crawford, J. (1992): The search for the superior toothbrush design technology., J Clin Dent 3, Seite 1-4.

Monefeld, K. (1988): Profylakseuntvalget, Plakk-kontroll., Den Norske Tannleg Tid 15, Seite 624-626.

Muhler, J. C. (1969): Comparative frequency of use of electric toothbrush and hand toothbrush., J Periodontol 40, Seite 268-270.

Niemi, M. L.; Ainamo, J. und Etemadzadeh, H. (1986): Gingival abrasion and plaque removal with manual versus electrical tooth brushing., J Clin Periodontol 13, Seite 709-713.

Nyborg, W. L. (1977): Physical mechanisms for biological effects of ultrasound., HEW Publication (FDA), 78-8062.

O'Beirne, G.; Johnson, R. H.; Persson, G. R. und Spektor, M. D. (1996): Efficacy of a sonic toothbrush on inflammation and probing depth in adult periodontitis., J Periodontol 67, Seite 900-908.

O'Leary, T. J.; Drake, R. B. und Naylor, J. E. (1972): The plaque control record., J Periodontol 43, Seite 38.

Ögaard, B.; Seppä, L. und Rolla, G. (1994): Professional topical fluoride applications-clinical efficacy and mechanism of action., Adv Dent Res 8, Seite 190-201.

Ögaard, B.; Seppä, L. und Rolla, G. (1994): Relationship between oral hygiene and approximal caries in 15-year-old Norwegians., Caries Res 28, Seite 297-300.

Pader, M. (1988): The toothbrush and other mechanical devices., Jungermann, E., Oral hygiene products and practice. Seite 141-194, Marcel Dekker, Inc., New York.

Park, E.; Srikantha, R.; Wu-Yuan, C. D. und Stanford, C. (1997): In vivo removal of plaque on enamel surfaces by a sonic toothbrush., J Dent Res 76, Seite 148.

Paulander, J.; Axelsson, P. und Lindhe, J. (2003): Association between level of education and oral health status in 35-, 50-, 65- and 75-year-olds., J Clin Periodontol 30 [8], Seite 697-704.

Philips (2004): Advances in Oral Health and Sonicare Technology., Philips Oral Health Care Symposium, Paris.

Pienta, K. J. und Coffey, D. S. (1991): Cellular harmonic information transfer through a tissue tensegrity-matrix system., Medical Hypotheses 34, Seite 88-95.

Pieper, K. (1998): Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege (Hrsg.). Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997., DAJ, Bonn.

Pieper, K. (2001): Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege (Hrsg.). Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000., DAJ, Bonn.

Preber, H.; Ylipää, V.; Bergström, J. und Ryden, H. (1991): A comparative study of plaque removing efficiency using rotary electric and manual toothbrushes., Swed Dent J 15, Seite 229-234.

Quigley, G. A. und Hein, J. W. (1962): Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing., JADA 65, Seite 26-29.

Quirynen, M.; Verviet, E.; Teerlinck, J.; Darius, P. und van Steenberghe, D. (1994): Medium- and long-term effectiveness of a counterrotational electric toothbrush on plaque removal, gingival bleeding, and probing pocket depth., Int J of Periodontics and Restorative Dentistry. 14, Seite 364-377.

Rapley, J. W. und Killoy, W. J. (1994): Subgingival and interproximal plaque removal using a counter-rotational electric toothbrush and a manual toothbrush., Quintessence Int 25, Seite 39-42.

Rateitschak, K. H.; Rateitschak, E. M. und Wolf, H. F. (1989): Farbatlanten der Zahnmedizin 1: Parodontologie., Thieme, Stuttgart.

Renggli, H. H.; Mühlemann, H. R. und Rateitschak, K. H. (1984): Parodontologie., 3. Aufl. Auflage, Seite 134-138, Thieme, Stuttgart.

Ripa, L. W. (1974): Correlation between oral hygiene status, gingival health and dental caries in schoolchildren., J Prev Dent 1, Seite 28-38.

Risheim, H.; Kjaerheim, V. und Arneberg, P. (1992): Improvement of oral hygiene in patients with rheumatoid arthritis., Scand J Dent Res 100, Seite 172-175.

Robertson, P. B.; Armitage, G. A.; Buchanan, S. A. und Targgat, E. V. (1989): The design of trials to test the efficiency of plaque control agents for periodontal diseases in humans., J Dent Res 68, Seite 1667-1671.

Robinson, P. J.; Maddalozzo, D. und Breslin, S. (1997): A 6-month clinical comparison of the efficacy of the Sonicare and the Braun Oral-B electric toothbrushes on improving periodontal health in adult periodontitis patients., J Clin Dent 8, Seite 4-9.

Roulet, J.F. (1995): Präventive Zahnmedizin-Stand der Wissenschaft im Rahmen der Kariologie., Quintessence 46, Seite 765-781.

Rugg-Gunn, A. J. und Mac Gregor, I. D. M. (1978): A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults., J Periodontol 13, Seite 382-388.

Sarker, S.; McLey, L. und Boyd, R. L. (1997): Clinical and laboratory evaluation of a powered electric toothbrush: laboratory determination of relative interproximal cleaning efficiency of four powered toothbrushes., J Clin Dent 8 (3 Spec No), Seite 81-85.

Saxer, U. P.; Barbakow, J. und Yankell, S. L. (1998): New studies on estimated and actual toothbrushing times and dentifrice use., J Clin Dent 9, Seite 49-51.

Saxer, U. P.; Emling, R. und Yankell, S. L. (1983): Actual versus estimated toothbrushing time and toothpaste used., Caries Res 17, Seite 179-180.

Saxer, U. P. und Mühlemann, H. R. (1975): Motivation and education., Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 85, Seite 905-919.

Saxer, U. P. und Yankell, S. L. (1997): A review of laboratory methods to determine toothbrush safety and efficacy., J Clin Dent 8, Seite 114-119.

Saxer, U. P. und Yankell, S. L. (1997a): Impact of improved toothbrushes on dental diseases. I., Quintessence Int 28(8), Seite 513-525.

Saxer, U. P. und Yankell, S. L. (1997b): Impact of improved toothbrushes on dental diseases. II., Quintessence Int 28(9), Seite 573-593.

Schmidt, H.; Engelmann, U.; Gäbler, K. und Mieler, L. (1981): 1. Mitteilung: Indexempfehlungen zur Bewertung der oralen Hygiene., Stomatol DDR 31, Seite 765-771.

Schneider, H.; Adelani, C.; Jaudszus, M.; Klug, W. und Volkmann, M. (1987): Untersuchung über den Periodontal-Disease-Index nach Ramfjord und Parodontopathie-Index nach Köttschke., Stomatol DDR 37, Seite 229-236.

Schneider, M. und Knappe, D. (1999): Zahnmedizinische Prävention-Paradigmenwechsel und Neuorientierung überfällig., Die Ersatzkasse, Seite 639-642.

Schou, L. und Uitenbroek, D. (1995): Social and behavioural indicators of caries experience in 5 year-old children., Community Dent Oral Epidemiol 23, Seite 276-281.

Schroeder, H. E. (1992): Orale Strukturbilogie., 4. überarbeitete Auflage. Auflage, Thieme, Stuttgart/New York.

Schupke, S.; Guarascio, R. und Saxer, U. P. (2000): Vergleich zwischen einer Interdent-Zahnbürste und der elektrischen Oral-B Braun Plaque Control D3., Prophylaxe-Impuls 4, Seite 71-78.

Sharma, N. C.; Galustians, H. J.; Qaqish, J. und Cugini, M. (1998): A comparison of two electric toothbrushes with respect to plaque removal and subject preference., Am J Dent 11 (Spec No), Seite 29-33.

Sharma, N. C.; Galustians, H. J.; Qaqish, J.; Cugini, M. und Warren, P.R. (2002): The effect of two power toothbrushes on calculus and stain formation., Am J Dent 15, Seite 71-76.

Shifter, C. C.; Emling, R.; Seibert, J. S. und Yankell, S. L. (1983): A comparison of plaque removing effectiveness of an electric versus a manual toothbrush., Clin Prev Dent 5, Seite 15-19.

Silness, J. und Loe, H. (1964): Periodontal disease in pregnancy. Correlation between oral hygiene and periodontal condition., Acta Odontol Scand 24, Seite 747-759.

Sjögren, K.; Lundberg, A.-B.; Birkhed, D.; Dudgeon, D. J. und Johnson, M. R. (2004): Interproximal plaque mass and fluoride retention after brushing and flossing- a comparative study of powered toothbrushing, manual toothbrushing and flossing., Oral Health Prev Dent 2, Seite 119-124.

Splieth, C. (1998): Site-spezifisches Kariesrisikomanagement und bedarfsorientierte Prävention., Schneider, H., Plaque-Kontrolle und Therapie. Seite 179-188, Appolonia, Linnich.

Stalnacke, K.; Söderfeldt, B. und Sjödin, B. (1995): Compliance in use of electric toothbrushes., Acta Odontol Scand 53, Seite 17-19.

Stanford, C. M.; Srikantha, T. und Wu, C. D. (1997): Efficacy of the Sonicare toothbrush fluid dynamic action on removal of human supragingival plaque., J Clin Dent 8, Seite 10-14.

Stecksen-Blicks, C. und Holm, A. K. (1995): Between-meal-eating, toothbrushing frequency and dental caries in 4 year-old children in the north of Sweden., Int J Paediatr Dent 5, Seite 67-72.

Stoffel, J. (1986): Zahnputztechnik im Vergleich - eine Patientenbeobachtung., Quintessence 37, Seite 1101-1107.

Stoltze, K. und Bay, L. (1994): Comparison of a manual and a new electric toothbrush for controlling plaque and gingivitis., J Clin Periodontol 21, Seite 86-90.

Strahan, J. D.; Bashaarat, A. und Greenslade, R. N. (1977): Control of Plaque by non-chemical means., J Clin Periodontol 4, Seite 13-22.

Sundin, B.; Birkhed, D. und Granath, L. (1983): Is there not a strong relationship nowadays between caries and consumption of sweets?, Swed Dent J 7, Seite 103-108.

Sutcliffe, P. (1983): Oral cleanliness and dental caries, Murray, J.J., The prevention of Dental Disease Seite 159-174, Oxford University Press, Oxford.

Ten Cate, J. M. (1979): Remineralization of enamel lesions. A study of the physico-chemical mechanism., Groningen, Naturwiss Diss, Fluorapatit

Terzhalmy, G. T.; Gagliardi, V. B.; Rybicki, L. und Kaufman, M. J. (1995a): Clinical evaluation of the efficacy and safety of the Ultrasonex toothbrush: a 30-day study., Compend Contin Educ Dent 15, Seite 866-874.



Terzhalmy, G. T.; Iffland, H.; Jelepis, C. und Waskowski, J. (1995b): Clinical evaluation of the effect of an ultrasonic toothbrush on plaque, gingivitis and gingival bleeding: a six-month study., J Prosthet Dent 73, Seite 97-103.

Tesche, M. (1995): Untersuchung der Sensibilität und Validität von drei gebräuchlichen Plaque-Index-Methoden., Berlin, Zahnmed Diss

Thilo, B. E. und Baehni, P. C. (1987): Effect of ultrasonic instrumentation on dental plaque microflora in vitro., J Periodontol Res 22, Seite 518-521.

Tritten, C. B. und Armitage, G. C. (1996): Comparison of a sonic and a manual toothbrush for efficacy in supragingival plaque removal and reduction of gingivitis., J Clin Periodontol 23, Seite 641-648.

Trubman, A. (1963): Oral hygiene: its association with periodontal disease and dental caries in children., J Am Dent Ass 67, Seite 348-351.

Tscharre-Zachhuber, C.; Riedl, M. A.; Klumer, S. und Kemmler, G. (1989): Effektivität elektrischer Zahnbürsten., Z Stomatol 86, Seite 369-375.

Turesky, S.; Gilmore, N. D. und Glickman, I. (1970): Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue of vitamine C., J Periodontol 41, Seite 41-43.

Van der Weijden, G. A. (2002): Models for Assessing Powered Toothbrushes., Adv Dent Res 16, Seite 17-20.

Van der Weijden, G. A.; Danser, M. M.; Nijboer, A.; Timmerman, M. F. und Van der Velden, U. (1993a): The plaque-removing efficacy of an oscillating/rotating toothbrush. A short-term study., J Clin Periodontol 20, Seite 273-278.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Danser, M. M.; Nijboer, A.; Saxton, C. A. und Van der Velden, U. (1994): Effect of pre-experimental maintenance care duration on

the development of gingivitis in partial mouth experimental gingivitis model., J Periodontol Res 29, Seite 168-173.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Nijboer, A.; Lie, M. A. und Van der Velden, U. (1993b): A comparative study of electric toothbrushes for the effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration., J Clin Periodontol 20, Seite 476-481.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Piscoer, M.; Ijzerman, Y.; Warren, P. und Van der Velden, U. (1998): A comparison of the efficacy of a novel electric toothbrush and a manual toothbrush in the treatment of gingivitis., Am J Dent 11, Seite 23-28.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Reijerse, E.; Danser, M. M.; Mantel, M. S.; Nijboer, A. und Van der Velden, U. (1994a): The long term effect of an oscillating/rotating toothbrush on gingivitis. An 8 month clinical study., J Clin Periodontol 21, Seite 139-145.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Reijerse, E.; Mantel, M. S. und Van der Velden, U. (1995): The effectiveness of an electric toothbrush in the removal of established plaque and treatment of gingivitis., J Clin Periodontol 22, Seite 179-182.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Reijerse, E.; Snoek, C. M. und Van der Velden, U. (1994b): Comparison of 2 electric toothbrushes in plaque-removing ability. Professional and supervised brushing., J Clin Periodontol 22, Seite 648-652.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Reijerse, E.; Snoek, C. M. und Van der Velden, U. (1996): Comparison of an oscillating/rotating electric toothbrush and a sonic toothbrush in plaque-removing ability. A professional toothbrushing and supervised brushing study., J Clin Periodontol 23, Seite 407-411.

Van der Weijden, G. A.; Timmerman, M. F.; Snoek, C. M.; Reijerse, E. und Van der Velden, U. (1996): Toothbrushing duration and plaque removing efficacy of electric toothbrushes., Am J Dent 9, Seite 31-36.

Von der Fehr, F. R.; Loe, H. und Theilade, E. (1970): Experimental caries in man., Caries Res 4, Seite 131-148.

Waerhaug, J. (1981): Effect of toothbrushing on subgingival plaque formation., J Periodontol 52, Seite 32-34.

Wagner, P. (1993): Der Plaque-Index nach Quigley und Hein: Die klinische Prüfung der Zuverlässigkeit (Reliabilität). Berlin, Prom.-Schrift, Akad. Ärztl. Fortb.

Walmsley, A. D. (1997): The electric toothbrush: a review., Br Dent J 182, Seite 209-218.

Walmsley, A. D.; Laird, W. R. E. und Lumley, P. J. (1992): Ultrasound in dentistry. Part 2-periodontology and endodontics., J Dent 20, Seite 11-17.

Walmsley, A. D.; Laird, W. R. E. und Williams, A. R. (1988): Dental plaque removal by cavitation activity during ultrasonic scaling., J Clin Periodontol 15, Seite 539-543.

Walsh, M. und Glenwright, H. (1984): Relative effectiveness of rotary and conventional toothbrush in plaque removal., Community Dent Oral Epidemiol 12, Seite 160-164.

Walsh, M.; Heckman, B.; Leggott, P.; Armitage, G. und Robertson, P. B. (1989): Comparison of manual and power toothbrushing, with and without adjunctive oral irrigation, for controlling plaque and gingivitis., J Clin Periodontol 16, Seite 419-427.

Warren, P. R.; Landmann, H. und Chater, B. V. (1998): Electric toothbrush use. Attitudes and experience among dental practitioners in Germany., Am J Dent 11, Seite 53-56.

Warren, P. R.; Ray, T. S.; Cugini, M. und Chater, B. V. (2000): A practice-based study of a power toothbrush: assessment of effectiveness and acceptance., Am J Dent Assoc. 131 (3), Seite 389-394.

Warren, P.R.; Cugini, M.; Marks, P. und King, D. W. (2001): Safety, efficacy and acceptibility of a new power toothbrush: a 3-month comparative clinical investigation., Am J Dent 14, Seite 3-7.

Weinstein, P.; Milgrom, P.; Melnick, S. ; Beach, B. und Spadafora, A. (1989): How effective is oral hygiene instruction? Results after 6 and 24 weeks., Journal of Public Health in Dentistry 49, Seite 32-38.

White, L. W. (1996): Efficacy of a sonic toothbrush in reducing plaque and gingivitis in adolescent patients., J Clin Orthodontics 30, Seite 85-90.

Williams, K. ; Ferrante, A.; Dockter, K.; Haun, J.; Biesbrock, A. R. und Bartizek, R. D. (2004): One- and 3-Minute Plaque Removal by a Battery-Powered Versus a Manual Toothbrush., J Periodontol 75, Seite 1107-1113.

Wilson, M. (2001): Bacterial biofilms and human disease., Science in Progress 84, Seite 235-254.

Wilson, T. G. (1998): How patient compliance to suggested oral hygiene and maintenance affect periodontal therapy., Dent Clin North Am 42, Seite 389-403.

Wu-Yuan, C. D.; Anderson, R. D. und Mc Innes, C. (1994): Ability of the Sonicare electronic toothbrush to generate dynamic fluid activity that removes bacteria., J Clin Dent 5, Seite 89-93.

Ximenez-Fyvie, L. A.; Haffajee, A. D.; Som, S.; Thompson, M.; Torresyap, G. und Socransky, S. S. (2000): The effect of repeated professional supragingival plaque removal on the composition of the supra- and subgingival microbiota., J Clin Periodontol 27, Seite 637-647.

Yankell, S. L.; Emling, R. und Shi, X. (1997): Interproximal access efficacy of Sonicare Plus and Braun Oral-B Ultra compared to a manual toothbrush., J Clin Dent 8, Seite 26-29.

Zimmer, S. (1999): Kariesprophylaxe als multifaktorielle Präventionsstrategie., Berlin, Habilitationsschrift

Zimmer, S.; Bizhang, M.; Seemann, R. und Barthel, C. R. (2001): Einfluss von Prophylaxeprogrammen auf die Mundhygiene von Erwachsenen und Schulkindern., Gesundheitswesen 63, Seite 98-101.

Zimmer, S.; Didner, B. und Roulet, J.F. (1999): Clinical study on the plaque-removing ability of a new triple-headed toothbrush., J Clin Periodontol 26, Seite 281-285.

Zimmer, S.; Didner, B. und Roulet, J.F. (1999): Klinische Studie zur Effektivität von elektrischen Zahnbürsten., Prophylaxe-Impuls 3, Seite 164-169.

Zimmer, S.; Fosca, M. und Roulet, J.F. (2000): Clinical study of the effectiveness of two sonic toothbrushes., J Clin Dent 11, Seite 24-27.

Zimmer, S.; Nezhat, V.; Bizhang, M.; Seemann, R. und Barthel, C. R. (2002): Clinical efficacy of a new sonic/ultrasonic toothbrush., J Clin Periodontol 29, Seite 496-500.

## 10 Danksagung

Die Umsetzung der vorliegenden Dissertation wurde durch den Einsatz vieler Menschen ermöglicht, bei denen ich mich hiermit herzlich bedanken möchte.

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Stefan Zimmer. Er hat mir nicht nur das Dissertationsthema überlassen, sondern durch seine außerordentlich kompetente und freundschaftliche Betreuung sowie großzügige Hilfe zur Realisierung der vorliegenden Arbeit beigetragen.

Allen Kollegen der Abteilung für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin des Zentrums für Zahnmedizin der Charité, besonders Prof. Dr. Klaus-Roland Jahn und Dr. Mozhgan Bizhang, danke ich für ihre Hilfsbereitschaft, tatkräftige Unterstützung und fortwährende Ermutigung.

Meinen Eltern, die meinen bisherigen Werdegang ermöglicht haben und mir immer zur Seite stehen, sei diese Arbeit gewidmet.

## 11 Curriculum vitae

### Persönliche Daten

Name, Vorname	Strauss, Juliane
Geburtsdatum	18. Januar 1976
Geburtsort	Berlin Pankow

### Schulbildung

1982-1991	Polytechnische Oberschule „Gerhard Eisler“, Berlin
1991-1995	Gymnasium „Carl von Ossietzky“, Berlin
1995	Abiturprüfung

### Hochschulbildung

1995	Immatrikulation in den Studiengang Zahnmedizin an der Humboldt-Universität zu Berlin
1996	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
1998	Zahnärztliche Vorprüfung
2001	Zahnärztliche Prüfung

### Berufliche Tätigkeit

2002	Approbation als Zahnärztin
seit 2002	Angestellte Zahnärztin im Universitätsklinikum Charité, CVK, Abteilung für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin

## 12 Erklärung

Ich, Juliane Strauss, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Klinische Effektivität zweier neuartiger elektrischer Zahnbürsten im Vergleich zu einer konventionellen Handzahnbürste“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Berlin, den 22.11.2005

Juliane Strauss